

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**Caracterização geoquímica, mineralógica, textural e paragenética  
da alteração hidrotermal e mineralização na massa de Estação  
(Aljustrel) e sua comparação com a massa de Feitais**

Luís Miguel Janota dos Santos

**Mestrado em Geologia Económica**  
Especialização em Prospeção Mineral

Relatório de Estágio orientado por:  
Jorge Manuel Rodrigues de Sancho Relvas  
João Francisco Correia Gonçalves

2020

## Agradecimentos

---

A execução e conclusão do estudo agora apresentado, são amplamente devidas a um conjunto de pessoas que, sem o seu contributo fundamental ao longo deste percurso, teriam tornando este desafio impossível. Sem elas este dia nunca teria chegado. Esta realidade e constatação provam que na vida, ninguém vence sozinho.

Agradeço de uma forma muito especial e calorosa ao meu orientador e amigo, o Professor Doutor Jorge Relvas, pelo seu extraordinário suporte científico e académico, pela disponibilidade constantemente revelada para ensinar e debater ideias, pelo esforço que realizou ao meu lado nas fases mais críticas deste caminho, e acima de tudo pela amizade, suporte moral e paciência infinita. Para si, professor, não existem palavras para lhe agradecer...

Agradeço à empresa ALMINA – Minas do Alentejo S.A., na pessoa do geólogo responsável pelo Departamento de Geologia, o Dr. João Gonçalves, meu coorientador e antigo colega, pela oportunidade concedida para a execução deste relatório. Todo o suporte técnico, científico e financeiro disponibilizado foram fundamentais à concretização dos objetivos inicialmente definidos.

Não é demais frisar a qualidade dos dados obtidos, e a excelência dos equipamentos colocados à minha inteira disposição. Neste sentido, destaco o trabalho realizado durante dois dias com o Dr. Pedro Alves, que conduz na perfeição um “Ferrari” chamado MLA. A todos os geólogos e restantes profissionais da empresa que me ajudaram na etapa inicial de trabalho, principalmente na caroteca, e me proporcionaram uma experiência extremamente enriquecedora, agradeço de forma sentida.

Obrigado, Dra. Cyntia Mourão, pelas lâminas polidas perfeitas e pela simpatia constante. Obrigado, Dr. Pedro Rodrigues, pelos dias na microsonda e excelentes dados de química mineral obtidos.

Agradeço ao Mário, antigo colega de mestrado pela disponibilidade total demonstrada nas informações prestadas, antes da entrega deste relatório. A todos os membros daquele grupo de mestrandos e colegas, agradeço os bons tempos passados, bem como a convivência e entreajuda que sempre existiu.

Ao meu caro amigo Carlos Ramalhão devo um especial agradecimento pela excelente revisão do meu *abstract*. *Thanks a lot!*

A ti, Filipa Luz, um abraço muito grande por seres como és, e por teres puxado por mim em alturas complicadas. Foi necessário chegar à fase final do meu percurso académico para ter conhecido a melhor colega e amiga! Filipa, imagino que em relação à tua pessoa, haja um número assinalável de agradecimentos em publicações semelhantes a esta no departamento de Geologia. É merecido!

Por último, mas não menos importante, bem pelo contrário, agradeço profundamente à minha família (mãe, pai, irmã, sobrinha e cunhado), que me deu tudo na vida e cujo apoio sempre foi incondicional e uma força para seguir em frente.

A eles junto a pessoa mais importante que conheci... a Carina. Sem ela a minha existência não seria plena e os problemas muito mais difíceis de ultrapassar. A tua força, resiliência e amor permitiram, entre muitas outras coisas, não me deixar desistir.

## Resumo

---

O jazigo de Estação situa-se no extremo NE da vila de Aljustrel e corresponde a uma massa de sulfuretos maciços rejeitada, em cerca de 600 m, pela falha da Represa, relativamente ao depósito de Feitais, com o qual formaria um corpo mineralizado único. Este jazigo, até hoje não explorado, apresenta uma morfologia tipicamente lenticular com 600 m de comprimento, 480 m de largura e até 100 m de possança, ocorrendo no flanco normal do designado anticlinal de Feitais. A re-interpretação geoestrutural levada a cabo nesta investigação permitiu reconstituir por completo a geometria da massa de Estação, com base no estudo detalhado de três sondagens de superfície (ES13001; ES13002; ES12001), implantadas ao longo de três perfis geológicos perpendiculares à estrutura, de cujos testemunhos foi possível seleccionar uma amostragem muito representativa, quer dos minérios maciços e de *stockwork*, quer dos vários litótipos e fácies de alteração presentes na sequência encaixante do depósito.

Os vulcanitos félsicos que hospedam o corpo mineralizado de Estação encontram-se invariavelmente afetados por alteração hidrotermal de carácter regional, pré-mineralização, que resultou de regimes de circulação convectiva de água do mar pouco modificada através de uma sequência vertical de rochas vulcanoclásticas permeáveis. Apesar dos efeitos metassomáticos deste evento, o carácter riolítico e as principais características texturais destes litótipos, estabelecidas no passado por diversos autores (Munhá 1983b; Barriga, 1983), foram consubstanciados neste estudo através de sólidas evidências petrográficas e geoquímicas. A sequência litoestratigráfica que hospeda as mineralizações de Estação foi definida, da base para o topo, por riólitos dos tipos EA, EB e EC, que exprimem a evolução do quimismo magmático nas rochas da região. Estes riólitos apresentam assinaturas geoquímicas totalmente correlacionáveis com os riólitos classificados por Barrett *et al.* (2008) em Aljustrel, facto suportado por comparação entre razões de elementos de comportamento relativamente imóvel. Estes riólitos apresentam uma textura maioritariamente vulcanoclástica e correspondem a fácies do tipo brecha rica em *fiamme* e fenocristais (Rosa et al. 2010).

A alteração hidrotermal mineralizante sobreposta às rochas félsicas encaixantes da massa de Estação, imprimiu um conjunto de assinaturas paragenéticas, texturais, mineralógicas e geoquímicas, amplamente conhecidas e descritas para esta tipologia de depósitos. Estas características são definidoras de padrões e zonalidade de alteração hidrotermal que foram perfeitamente identificados neste estudo e que mimetizam de forma muita aproximada, outros casos análogos em Aljustrel (*e.g.* Barriga, 1983; Relvas, 1991). O estudo sequencial, mas integrado, das paragéneses, texturas e variabilidade geoquímica dos litótipos de Estação, permitiu estabelecer três padrões principais de alteração e correspondente zonalidade temporal e espacial, num contexto evolutivo das suas condições físico-químicas e metalogenéticas.

A zona de alteração do tipo 1 (clorítica) corresponde ao núcleo do sistema hidrotermal mineralizante e apresenta um padrão de alteração caracterizado pela associação mineralógica secundária clorite + quartzo + sulfuretos + carbonatos  $\pm$  sericite, que espelha as condições termo-químicas mais intensas do sistema. A alteração nesta zona é extremamente pervasiva e evidencia uma proeminente profusão de veios que mimetizam as paleo-condutas de fluidos mineralizantes ascendentes do sistema. A lixiviação de álcalis e alcalino-terrosos (K, Na e Ca,) nesta zona revelou-se intensa e, em sentido inverso, a cloritização e sulfuretização traduziram-se num sistemático predomínio de Fe + Mg, posto em evidência pelos dados mineralógicos. A mineralogia sulfuretada nesta zona é dominada por pirite  $\pm$  calcopirite + esfalerite + galena.

A zona de alteração do tipo 2 constitui um halo periférico relativamente ao núcleo clorítico do sistema hidrotermal, que se traduz numa gradual intensificação da sericitização e silicificação das rochas, com evidente diminuição da cloritização e de veios mineralizados. O padrão de alteração característico desta zona é dominado pela associação mineralógica sericite + quartzo  $\pm$  clorite + sulfuretos + carbonatos. A teto da massa mineralizada de Estação foi possível identificar uma sequência

de rochas que, do ponto de vista mineralógico e geoquímico, nos remetem para uma alteração ultra-periférica do tipo 3. O incremento de molécula paragonítica (Na) nas sericites destas amostras, sobrepõe-se a expressões texturais condizentes com zonas mais proximais do sistema hidrotermal. Este tipo de alteração revela-se mais subtil e apresenta uma associação mineralógica dominada por sericite rica em sódio + quartzo + carbonatos.

As clorites apresentam variações em Fe, Mg e Al que são função da sua proximidade ao núcleo do sistema. A razão  $Fe/(Fe+Mg)$  permitiu discriminar as clorites mais ferrosas como sendo as mais proximais ao eixo do sistema hidrotermal mineralizante e onde a influência dos fluidos mineralizantes sobre as rochas é maior, nomeadamente em zonas de extensas redes de veios (zona 1). As sericites apresentam uma variabilidade composicional do Na e K que é expressa pela razão  $Na/(Na+K)$ . Esta variabilidade permitiu a discriminação de sericites fortemente potássicas (zona 2a) e sericites progressivamente mais sódicas (zona 2b) podendo chegar a paragonites quase puras, típicas de zonas mais distais. Consequentemente, o empobrecimento progressivo de Na nas sericites e alguma incorporação progressiva de Fe+Mg na respetiva estrutura cristaloquímica, constituem vetores que apontam no sentido do núcleo do sistema hidrotermal. De entre os carbonatos analisados, as anquerites tardi-metalogenéticas, com Fe e Mg na sua composição, discriminam-se composicionalmente em função do perfil considerando. Foi possível constatar a presença de anquerites com mais Fe no perfil central (mais proximal ao eixo do sistema) do que em zonas mais afastadas, nomeadamente no perfil NW.

A utilização de diagramas do tipo “*Alteration box-plot*” (Large *et al.*, 2001) no âmbito deste estudo, permitiu relacionar os dados da geoquímica de rocha total com a alteração hidrotermal mineralizante através da identificação de *trends* que definem sequências e paragéneses de alteração. Identificou-se um *trend 4*, de associação clorite – carbonatos – pirite, de aproximação ao eixo do sistema, que sugere a presença mais proeminente nas amostras de carbonatos de caráter ferroso, provavelmente siderite em finas frações matriciais. Em amostras de rochas pouco mineralizadas, esta ferramenta permitiu identificar dois outros *trends* composicionais no sentido da aproximação ao núcleo do sistema mineralizante. Um *trend 3* (clorite + sericite + pirite) e um *trend 2* (sericite + clorite ± pirite) que se revelaram perfeitamente consistentes com os padrões de alteração anteriormente descritos.

Como vimos, a análise de microsonda das principais fases secundárias de alteração (clorites, sericites e carbonatos) complementou e reforçou os critérios paragenéticos e texturais utilizados na definição da zonalidade de alteração hidrotermal mineralizante. Em última análise, a transversalidade da presença destes minerais no contexto das várias zonas de alteração, e a sua variação, permitiram estabelecer valiosos critérios de prospeção mineral, critérios esses que foram harmoniosamente corroborados pelos dados da geoquímica de rocha total.

A litogeoquímica colocou igualmente em destaque aspetos críticos relativamente aos mecanismos que promoveram a mineralização das rochas vulcânicas que hospedam o jazigo de Estação. O comportamento relativamente imóvel de vários elementos menores em rochas fortemente mineralizadas constituiu um precioso recurso neste sentido. Uma vez estabelecidas as correlações entre elementos (Ta, Nb, Zr, Hf e Y) de rochas pouco mineralizadas e suas congéneres variavelmente alteradas (*stockwork* e minério maciço), foi possível determinar uma correspondência entre as assinaturas dos dois grupos de rochas, o que representa uma evidência direta de um mecanismo de substituição. Por outro lado, a evolução composicional da  $SiO_2$  e do  $Al_2O_3$  espelha o balanço de massa do sistema hidrotermal mineralizante durante o processo de mineralização (*cf.* Relvas *et al.*, 2006a). Nesta evolução composicional, ainda que ambos os elementos sejam afetados pelos fluidos mineralizantes, fazem-no de modo diferenciado. Tanto a sílica como a alumina são subtraídas do sistema por lixiviação, mas de forma desfasada. A sílica, mais solúvel, é primeiramente lixiviada, seguindo-se-lhe a alumina sob condições físico-químicas mais extremas. Este processo conduz à substituição total da fração silicatada da rocha, por sulfuretos. Estas duas evidências demonstram claramente a existência de um estilo de mineralização por substituição na sub-superfície associado ao jazigo de Estação.



A oportunidade de trabalhar com o MLA (*Mineral Liberation Analyser*) nos laboratórios da EPDM em Aljustrel, permitiu a obtenção de um precioso conjunto de dados de mineralogia automática. Entre estes, destacam-se os dados de análise modal expressos pela percentagem em área de cada fase mineral. Estes dados revelaram-se coerentes com as observações e resultados obtidos através da petrografia, química mineral e litogeoquímica. Na análise da alocação de elementos químicos pelas diversas fases minerais e da libertação mineral (de extrema importância para a empresa mineiras em termos geometalúrgicos), optou-se por uma abordagem essencialmente descritiva e qualitativa dos dados que se revelou absolutamente consistente com os restantes resultados obtidos, observações efetuadas e interpretações preconizadas.

**Palavras-chave:** Aljustrel; Estação; alteração mineralizante; vetores de prospeção; metalogénese; mineralização por substituição na sub-superfície.

The Estação deposit is located in the NE corner of the Aljustrel village, in the Beja district (Portugal), and corresponds to a massive sulfide orebody separated, by about 600 m, by the Represa fault, from the Feitais deposit, with which it forms a unique mineralized body. This so far unexplored deposit presents a typical lenticular shape, 600m long, 480m wide and up to 100m thick, that occurs on the normal flank of the Feitais anticline. The geo-structural reinterpretation carried out in this investigation allowed for a complete reconstitution of the geometry of the Estação massive orebody, based on the detailed study of three surface drillcores (ES13001; ES13002; ES12001), implanted along three geological profiles perpendicular to the orebody structure, from which it was possible to select representative samples, both of massive and stockwork ores, and of the various lithotypes and alteration facies present in the deposit host sequence.

Previous to the mineralization event, the felsic rocks that host the Estação orebody are invariably affected by regional hydrothermal alteration, which resulted from convective circulation regimes of little-modified seawater through a vertical sequence of permeable volcanoclastic rocks. Despite the metasomatic effects of this event, the rhyolitic nature and the main textural features of these lithotypes, established in the past by several researchers (*e.g.*, Munhá 1983; Barriga, 1983), were confirmed in this study by solid petrographic and geochemical evidence. The lithostratigraphic sequence that hosts the Estação's mineralization was defined from bottom to top as EA, EB and EC rhyolite types, which express the magmatic chemical evolution of the Aljustrel rocks. The geochemical signatures of these rhyolites fully correlate with those classified by Barrett *et al.* (2008) in Aljustrel, which is supported by comparing the ratios of elements with relatively immobile behaviour. Most of these rhyolites present volcanoclastic texture and correspond to a *fiame-rich* facies of *volcanic breccias* with abundant phenocrysts (Rosa *et al.* 2010).

The overprinting of ore-forming hydrothermal alteration to the felsic volcanic rocks that host the Estação orebody produced a set of paragenetic, textural, mineralogical and geochemical signatures, widely described for this type of ore deposits in the IPB. These features define hydrothermal alteration patterns and zoning that were perfectly identified in this study and that closely resemble other similar cases in Aljustrel (*e.g.* Barriga, 1983; Relvas, 1991). The sequential yet integrated study of the paragenesis, textures and geochemical variability of the Estação lithotypes allowed us to establish three main rock alteration patterns and corresponding temporal and spatial zoning, in a context of changing physicochemical and metallogenetic conditions.

Type 1 alteration zone ("chloritic zone") corresponds to the core of the mineralizing hydrothermal system and is characterized by a secondary mineralogical assemblage of chlorite + quartz + sulfides + carbonates  $\pm$  sericite, which reflects the most intense thermo-chemical conditions of the system. The alteration in this particular zone is extremely pervasive and shows a prominent profusion of veins that represent the paleoconduits of ascending ore-forming fluids in the system. Leaching of alkali and alkaline-earth metals (K, Na and Ca) in this zone proved to be intense. Chloritization and sulphidization resulted in a systematic predominance of Fe + Mg, highlighted by mineralogical data. Sulphide mineralogy in this area is dominated by pyrite  $\pm$  chalcopyrite + sphalerite + galena.

Type 2 alteration zone constitutes a peripheral alteration halo enveloping the chloritic core of the hydrothermal system, exhibiting a gradual intensification of rock sericitization and silicification, and evident decrease in chloritization and mineralized veins. The characteristic alteration mineralogy of this zone is dominated by sericite + quartz  $\pm$  chlorite + sulfides + carbonates. On the hanging wall of the Estação orebody, it was possible to identify a sequence of rocks that, from a mineralogical and geochemical point of view, refer to an ultra-peripheral type 3 alteration zone. The increase of paragonitic component (Na) in the sericite of these samples overlaps textural imprints, which are consistent with

proximal innermost zones of the hydrothermal system. This type of alteration is more subtle and has a mineralogical assemblage, dominated by sericite rich in sodium + quartz + carbonates.

Variations in the Fe, Mg and Al contents of chlorite are related to the proximity to the system core: the Fe/(Fe+Mg) ratio discriminates the most ferrous chlorites as the most proximal to the ore-forming hydrothermal system axis, where the influence of mineralizing fluids on the rocks is most intense, producing extensive vein networks (zone 1). The compositional variability of sericite, is expressed by their Na/ (Na + K) ratio: this variability discriminates between strongly potassic sericites (zone 2a) and progressively sodium-richer sericites (zone 2b), to almost pure paragonites in more distal zones. Consequently, the progressive depletion of Na in sericite composition and some progressive incorporation of Fe+Mg in their structure point towards the core of the hydrothermal system. Among the carbonates analysed, late-stage ore-related ankerites are compositionally discriminated according to the profile considered: it was possible to confirm the presence of Fe-richer ankerites in the central profile (more proximal to the axis of the system) than in more distant zones, namely in the NW profile.

The use of “alteration box-plot”-type diagrams (Large *et al.*, 2001) in this study has allowed us to relate whole-rock geochemistry data with ore-forming hydrothermal alteration patterns by the identification of trends that define sequences and parageneses of alteration. The chlorite – carbonate – pyrite assemblage (trend 4) identified close to the axis of the system, is in agreement with the prominent presence of iron carbonates (most likely siderite) in the fine matrix of these rocks. In less mineralized rock samples, this tool enabled two other compositional trends to be identified towards the core of the mineralizing system: trend 3 (chlorite + sericite + pyrite) and trend 2 (sericite + chlorite ± pyrite) have proved to be perfectly consistent with the alteration patterns previously described.

As we have seen, the composition of the main secondary alteration phases (chlorite, sericite and carbonate) complemented and reinforced the paragenetic and textural criteria used in the definition of each hydrothermal alteration zone. The ubiquitous presence of these minerals in the context of the various alteration zones, and their variation, were invaluable to establish mineral exploration criteria, which were closely corroborated by whole-rock geochemistry.

Lithogeochemistry also highlighted critical aspects regarding the mechanisms that promoted the mineralization of volcanic rocks that host the Estação deposit. The relatively immobile behaviour of several trace elements in strongly mineralized rocks are a precious resource in this regard. Once the correlations between these elements (Ta, Nb, Zr, Hf, and Y) in the least mineralized rocks and their varying altered equivalents (stockwork and massive ore) have been established, it was possible to determine a correspondence between the signatures of the two groups of rocks, which represents direct evidence of a replacement mechanism. On the other hand, the evolution of whole-rock SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents reflects the mass balance of the mineralizing system during the ore-forming process (*cf.* Relvas *et al.*, 2006a). Even though both elements are affected by ore-forming fluids, they are so in a different way. Both silica and alumina are removed from the system by leaching, but not at the same rate: silica, being more soluble, is leached first, followed by alumina under more extreme physical and chemical conditions. This process leads to the complete sulfide replacement of the silicate fraction of the rock. These two evidences clearly demonstrate the existence of a style of mineralization by subsurface replacement associated with the Estação deposit.

The opportunity to work with MLA (*Mineral Liberation Analyzer*), at the EPDM laboratories in Aljustrel, produced a precious set of automatic mineralogical data. Among several operating modes, the modal analysis data, expressed by the percentage by area of each mineral phase present, stands out. These data were consistent with the petrographic observations, as well as with mineral chemistry and lithogeochemistry. For the distribution of chemical elements among the various mineral phases present and for mineral liberation analysis (extremely important for mining companies in geometallurgical terms), an essentially descriptive and qualitative approach to the data was adopted, which has proved to be consistent with the other results obtained, as well as with previous interpretations.

**Keywords:** Aljustrel; Estação; ore-zone alteration; exploration vectors; metallogenesis; mineralization by subsurface replacement.

## Índice

---

Lista de Figuras .....	XI
Lista de Tabelas.....	XX
1. Introdução.....	1
2. Enquadramento Geológico .....	3
2.1. Faixa Piritosa Ibérica.....	3
2.2. Jazigos Minerais da Faixa Piritosa Ibérica .....	7
2.2.1. Introdução.....	7
2.2.2. Tipologia de Depósitos.....	8
2.2.3. Metalogénese e Alteração Hidrotermal .....	10
2.3. Couto mineiro de Aljustrel .....	12
2.3.1. Introdução.....	12
2.3.2. Geologia Estrutural e Litoestratigrafia .....	13
2.4. Jazigos de Feitais e Estação.....	16
3. Reconstituição geológico-estrutural da massa de Estação .....	20
3.1. Introdução.....	20
3.2. Sondagens ES13001, ES13002 e ES12001 .....	20
3.2.1. Grupo do Flysch do Baixo Alentejo.....	22
3.2.2. Complexo Vulcano-Sedimentar .....	22
3.3. Implantação de sondagens – Reconstituição geoestrutural .....	28
4. Amostragem e Métodos Analíticos .....	34
4.1. Amostragem .....	34
4.2. Metodologias e técnicas analíticas .....	38
4.2.1. Lâminas polidas.....	38
4.2.2. Microsonda Eletrónica .....	38
4.2.3. Análise de Libertação Mineral .....	39
4.2.4. Métodos e técnicas analíticas utilizadas em química de rocha total.....	40
5. Padrão e zonalidade da alteração hidrotermal e mineralização na massa de Estação: caracterização mineralógica e textural .....	42
5.1. Introdução.....	42
5.2. Vulcanologia física e características primárias das rochas vulcânicas félsicas hospedeiras da mineralização .....	42
5.3. Petrografia da alteração hidrotermal – mineralização .....	43
5.3.1. Alteração clorítica (Tipo 1) .....	43
5.3.2. Alteração sericítica proximal (Tipo 2) .....	51

5.3.3. Alteração sericítica distal (Tipo 3) .....	54
5.3.4. Zonalidade da alteração hidrotermal .....	57
5.4. Mineralização maciça.....	61
6. Química Mineral.....	67
6.1. Mineralogia de alteração hidrotermal: silicatos e carbonatos .....	67
6.1.1. Clorite.....	67
6.1.2. Sericite.....	74
6.1.3. Carbonatos.....	80
6.1.4. Feldspatos.....	84
7. Química de Rocha Total.....	85
7.1. Introdução.....	85
7.2. Rochas vulcânicas félsicas pouco mineralizadas .....	85
7.3. Rochas vulcânicas félsicas variavelmente mineralizadas e minério maciço.....	94
7.3.1. <i>Stockwork</i> .....	94
7.3.2. Minério maciço.....	100
8. Mineralogia Automática.....	102
8.1. Análise modal dos principais minerais identificados .....	102
8.2. Alocação mineral dos elementos químicos analisados.....	106
8.3. Análise de libertação mineral .....	107
9. Discussão e Conclusões.....	108
9.1. Discussão.....	108
9.2. Conclusões .....	112
10. Referências bibliográficas .....	114
11. Anexos.....	119
ANEXO I – Logs descritivos das sondagens estudadas ( <i>Re-logging</i> ).....	120
ANEXO II – Amostragem e metodologias .....	147
ANEXO III – Petrografia – Representação gráfica, qualitativa, da proporção dos principais sulfuretos e sulfossais presentes nas amostras estudadas .....	152
ANEXO IV – Química Mineral .....	154
Anexo IV.1 – Análises de Clorite .....	155
Anexo IV.2 – Análises de Sericite .....	164
Anexo IV.3 – Análises de Carbonato.....	175
Anexo IV.4 – Análises de Feldspato.....	182
ANEXO V – Química de rocha total – Métodos analíticos e limites de deteção.....	185
ANEXO VI – Dados de Mineralogia Automática.....	188

Anexo VI.1 – Imagens de elétrões retro-difundidos e correspondentes imagens de cores “falsas” geradas por MLA.....	189
Anexo VI.2 – Dados de alocação mineral dos elementos químicos analisados.....	200
Anexo VI.3 – Dados de análise de libertação mineral .....	220

## Lista de Figuras

<b>Figura 2.1</b> – Mapa Geológico esquemático da Faixa Piritosa Ibérica, integrada nos terrenos da ZSP, com indicação e localização de alguns dos principais jazigos de VMS (modificada a partir de Tornos, 2006).....	3
<b>Figura 2.2</b> – Representação das principais unidades do Orógeno Varisco na Europa central e ocidental (modificada a partir de Ribeiro et al., 1979) .....	4
<b>Figura 2.3</b> – Relações geométricas e estruturais entre dobras e carreamentos na FPI (modificada a partir de Ribeiro et al., 1983) .....	5
<b>Figura 2.4</b> – Zoneografia do metamorfismo regional na FPI na ZSP (modificada a partir de Munhá, 1990).....	6
<b>Figura 2.5</b> – Representação da tipologia de depósitos de sulfuretos maciços da FPI (modificado a partir de Carvalho, 1999). A – Rochas vulcânicas félsicas; B – Forte alteração clorítica e stockwork cuprífero; C – Forte alteração sericitica; D – Sulfuretos maciços polimetálicos; 1 – Massa do tipo autóctone; 2 – Massa do tipo transicional; 3 – Massa do tipo alóctone; J – Jaspe. ....	10
<b>Figura 2.6</b> – Mapa geológico e estrutural simplificado de Aljustrel, com a localização dos depósitos de S. João, Moinho, Algaes, Feitais e Estação. O jazigo de Gavião não se encontra representado na figura (modificado a partir de Barret et al., 2008).....	14
<b>Figura 2.7</b> – Modelos de interpretação estrutural da região de Aljustrel, de acordo com (S) Schermerhorn e Stanton, 1969 e (R) Ribeiro et al., 1982 (modificado a partir de Barriga, 1983).....	14
<b>Figura 2.8</b> – Representação esquemática da litoestratigrafia de Aljustrel (Grupo de Aljustrel e Fm de Mértola). MS-Sulfuretos maciços; AV1-Unidade Vulcânica Inferior (AV1-ff – Tufos Felsíticos ou Felsofíricos; AV1-M – Tufos de Megacrístais); AV2-Unidade Vulcânica Superior (AV2-mt – Tufos da Mina; AV2-gt – Tufos Verdes) .....	15
<b>Figura 2.9</b> – Representação esquemática simplificada das relações espaciais (anteriores à deformação) entre as várias formações de Aljustrel (modificada a partir de Barriga, 1983).....	16
<b>Figura 2.10</b> – Localização das massas de Feitais e Estação em Aljustrel, com projeção simplificada sobre ortofotomapa do sector NE da vila. A projeção foi suportada pelo software 3D Vulcan 9.1 (Maptek).....	18
<b>Figura 3.1</b> – Localização geográfica do jazigo de Estação (coordenadas Militares – Datum Lisboa), com projeção das sondagens estudadas (ES13001, ES13002 e 12001) e dos perfis sobre os quais foram implantadas (NW, Central e SE). Segundo aquele sistema de coordenadas, temos: ES13001 (X – 198122.531; Y – 102179.514), ES13002 (X – 198120.762; Y – 101955.628), ES12001 (X – 198270.718; Y – 102028.715). Os perfis definidos como NW, Central e SE equivalem às secções 440, 280 e 200, respetivamente, de acordo com a numeração atribuída pela empresa Almina, S.A. e utilizada nos relatórios internos da empresa.....	21
<b>Figura 3.2</b> – Fotografias de porções de testemunho representativos de sedimentos vulcanogénicos, e sedimentos siliciosos de derivação hidrotermal, ambos associados à Fm. do Paraíso. A seta azul indica o topo da sondagem. <b>A-B</b> – Sedimentos finos esverdeados e púrpura, sericitizados; <b>C</b> - Sedimentos finos acinzentados, por vezes siltíticos; <b>D-E</b> – Sedimentos siliciosos quimiogénicos. Evidências de redução da hematite para magnetite com pirite associada (e.g. topo da fotografia D).....	26
<b>Figura 3.3</b> – Fotografias de porções de testemunho representativos das rochas do Complexo Vulcano-Sedimentar de Aljustrel, associadas ao jazigo de Estação. A seta azul indica o topo da sondagem. <b>F-G</b> – Rochas vulcanoclásticas félsicas a teto do minério maciço; <b>H</b> – A Amostra evidenciando a zona de contacto entre o encaixante e os sulfuretos maciços; <b>I</b> – Minério maciço pirítico (MSX - PYF); <b>J-K</b> – Minério maciço pirítico—esfalerítico (MSX – PYF/ZNF); <b>L-M</b> – Stockwork pirítico (STWK – PYF); <b>N</b> – Stockwork pirítico-cuprífero (STWK – PYF/CUF); <b>O-P</b> – Lítótipos vulcânicos félsicos muito alterados, subjacentes ao minério fissural .....	27



<b>Figura 3.4</b> – Log litoestratigráfico das sondagens ES13001, ES13002 e ES12001 .....	30
<b>Figura 3.5</b> – Corte geológico da estrutura do jazigo de Estação segundo o Perfil NW .....	31
<b>Figura 3.6</b> – Corte geológico da estrutura do jazigo de Estação segundo o Perfil Central .....	32
<b>Figura 3.7</b> – Corte geológico da estrutura do jazigo de Estação segundo o Perfil SE .....	33
<b>Figura 4.1</b> – Projeção em planta, das sondagens ES13001, ES13002 e 12001 e dos perfis NW, Central e SE no jazigo de Estação, com a respetiva distribuição (entre parênteses) da amostragem efetuada..	34
<b>Figura 4.2</b> – Representação gráfica do corte NW, com indicação das amostras colhidas ao longo da sondagem ES13001 de que foram produzidas lâminas polidas (ver Anexo II).....	35
<b>Figura 4.3</b> – Representação gráfica do corte Central, com indicação das amostras colhidas ao longo da sondagem ES13002 de que foram produzidas lâminas polidas (ver Anexo II).....	36
<b>Figura 4.4</b> – Representação gráfica do corte SE, com indicação das amostras colhidas ao longo da sondagem ES12001 de que foram produzidas lâminas polidas (ver Anexo II).....	37
<b>Figura 5.1 (Página seguinte) - A-D - Fotomicrografias de lâminas polidas representativas de sedimentos vulcanogénicos e siliciosos da Fm. do Paraíso. A – Sedimentos finos esverdeados (Amostra ES13002-4):</b> rocha com textura fina e foliação muito penetrativa. Predomínio de filossilicatos (sericite) e grãos de quartzo intersticiais microcristalinos. Presença de figuras sigmoidais com caudas bem marcadas na dependência de um agregado policristalino de quartzo (canto superior direito) [Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 10X]; <b>B – Sedimentos finos negros (Amostra ES13002-3):</b> rocha com textura muito fina, micro a criptocristalina, extremamente penetrativa, onde se observa estiramento – segundo S1 – e posterior dobramento – segundo a clivagem de crenulação (S2) - de elementos maiores presentes na matriz, nomeadamente carbonatos [Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 10X]; <b>C e D – Sedimentos siliciosos quimiogénicos (Amostra ES13002-7):</b> rocha com textura fina e equigranular, composta essencialmente por quartzo de origem hidrotermal no qual se disseminam de forma regular frequentes cristais ou agregados cristalinos de magnetite (Mag), resultantes da redução química da hematite. A rocha é cortada por um veio tardio de carbonato (Cb) no canto inferior esquerdo [C - Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 10X; D - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 10X]; <b>E e F – Tufo da Mina (Amostra 13002-8):</b> cristal de feldspato fortemente silicificado (Qz) e sericitizado (Ser) no seio de uma matriz finamente desvitrificada, constituída essencialmente por microcristais de quartzo. Esta matriz fina encontra-se relativamente bem preservada da alteração mineralizante em domínios de sombra de deformação, nos quais se verifica, em maior ampliação (F), uma sericitização incipiente que se intensifica progressivamente para zonas mais afastadas e coincidentes com planos de cisalhamento (C) [E - Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X; F - Luz transmitida; nicóis paralelos; Ampliação: 40X]. <b>G – Tufo da Mina (Amostra 13001-8):</b> pormenor de amostra de mão já representada anteriormente (Fig 3.3), onde se destacam as estruturas pomíticas achatadas (possível fiamme), bem como relíquias de feldspato distribuídas numa matriz sericitizada e onde lenticulas de carbonatos metalogenéticos se sobrepõem e obliteram a textura pré-existente. <b>H – Tufo da Mina (Amostra 13002-8):</b> relíquia de feldspato (Fsp), sericitizado, onde ainda é possível distinguir maclas de Albite (bordo inferior do cristal). Cloritização (Chl) e sericitização da matriz são igualmente visíveis, bem como alinhamentos de óxidos de ferro (OxFe) no canto inferior direito da imagem [Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 10X]. Abreviaturas segundo Whitney & Evans (2010), a que se adicionaram as abreviaturas de Óxidos de Ferro (OxFe) e de Fiamme (F). .....	
<b>Figura 5.2 (Página seguinte) – Fotomicrografias de lâminas polidas representativas de rochas vulcânicas (Tufo da Mina) variavelmente afetadas pela alteração hidrotermal mineralizante do tipo 1. A e A’ – Amostra 13001-19.</b> Zona interior de um veio mineralizado onde predominam carbonato + quartzo + sulfuretos. Os domínios translúcidos de esfalerite (Sp) são observáveis em luz transmitida na secção esquerda (A) da fotomicrografia. Este veio recorta uma amostra de rocha cloritizada e afetada por alteração carbonatada sobreposta [A - Luz transmitida; nicóis paralelos; Ampliação: 5X; A’ - Luz	45

transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X]; **B – Amostra 13001-22:** rocha vulcânica fortemente cloritizada na qual se observa sobreposição por uma intensa alteração sericitica e carbonatada das massas cloríticas pré-existentes. Verifica-se ainda, na dependência dos cristais de sulfuretos presentes, a ocupação de sombras de pressão por cristais de clorite (cinza claro e extinção ondulante), sericite e carbonatos recristalizados (zona central e canto superior esquerdo) [B – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X]; **C – Amostra 13001-37:** Cloritito. Contraste textural entre a massa clorítica e um domínio de clorite (recristalizada) + sulfuretos associado a uma possível zona de remobilização de sulfuretos [C – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 10X]; **D – Amostra 13002-37:** rocha vulcânica dominada pela paragênese quartzo + clorite + sulfuretos na qual se põe em evidência um domínio silicificado, exterior aos corredores cloríticos, na qual se observam venulações incipientes de sericite. Nesta zona diferencia-se um veio de quartzo (hidrotermal) com cristais bem desenvolvidos, extinção uniforme e de contornos bem definidos. Em redor daquele veio observam-se coalecimentos (D') de grãos de quartzo matricial pré-existente, de menores dimensões, cujos bordos se apresentam geralmente mais difusos [D – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 10X]; **E – Amostra 13002-41:** rocha fortemente mineralizada e de textura penetrativa, evidenciando clara transposição tectónica, na qual predomina a paragênese clorite + carbonatos + sulfuretos. O fabric tectónico é vincado pelas clorites maciças (tintas azuis claras), que por sua vez acomodam frequentes intercrescimentos de óxidos de ferro em alinhamentos sub-paralelos, normalmente descontínuos. A transição para zonas de circulação de fluidos, que é expressa pela associação entre os carbonatos e os sulfuretos, é vincada pela recristalização da clorite que exhibe naquela zona tonalidades mais escuras. [E – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X]; **F – Amostra 13002-46:** Cloritito muito mineralizado e de forte penetratividade textural. Evidencia-se a relação de corte entre as massas cloríticas e os veios mineralizados, constituídos essencialmente por carbonatos + sulfuretos ± clorite (recristalizada). [F – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X]; **G – Amostra 13002-58:** rocha vulcânica cloritizada de menor penetratividade textural e transposição tectónica dos seus elementos mineralógicos relativamente às amostras anteriores. Matriz clorítica com vincada silicificação, bem como sericitização incipiente sob forma de lenticulas finas a contornar elementos maiores (ex: agregado de quartzo coalescido). Presença de banda de sulfuretos (raros) na qual se observa o preenchimento por clorite e quartzo, de sombras de pressão adjacentes a cristal de pirite (canto superior direito) [G – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X]; **H – 12001-29:** Cunha vulcânica localizada entre o minério maciço e zonas mais periféricas de stockwork. Zona de veio mineralizado, dominado por clorite + quartzo + sulfuretos, mas onde a sericitização e carbonatização se tornam cada vez mais proeminentes [H – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X]. ..... 47

**Figura 5.3 (Página seguinte)** – Fotomicrografias de lâminas polidas representativas de rochas vulcânicas (Tufo da Mina) variavelmente afetadas por alteração hidrotermal mineralizante do tipo 1. **A – Amostra 13001-19:** mineralização sulfuretada presente na amostra representada nas fotos 5.2. A e A'. Predomínio da paragênese constituída por pirite ± esfalerite ± calcopirite, no seio de uma matriz de carbonatos em plena zona de veios mineralizados. Destaque nesta fotomicrografia para a substituição da esfalerite pela calcopirite no centro da imagem. Do lado esquerdo observam-se pontuações de calcopirite de diversas dimensões (“doença da calcopirite”) enquanto do lado direito a substituição quase completa pela calcopirite apenas permite vislumbrar “ilhas” remanescentes de esfalerite. Quando incompletamente recristalizada, a pirite apresenta uma textura muito fina e de aspeto picotado [A - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 40X]; **B e B' – Amostra 13001-21:** rocha fortemente deformada e dominada por pirite recristalizada. A deformação é bem vincada ao longo de corredores de cisalhamento pelo cataclasamento e cominuição da pirite (B'), bem como pela presença de bandas grosseiras e penetrativas de sericite que exibem proeminentes planos S1 e S2 (B). Os interstícios entre os cristais de pirite são preenchidos por clorite [B - Luz refletida; nicóis cruzados; Ampliação: 10X; B' - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 10X]; **C – Amostra 13001-28:** Cloritito com forte

penetratividade textural. Observa-se nesta imagem uma vincada remobilização dúctil da calcopirite ( $\pm$  esfalerite), associada a planos de cisalhamento. Em contraste com o observado, a pirite – canto inferior esquerdo – apresenta um comportamento mais refratário face à deformação [C - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 10X]; **D – Amostra 13002-41:** Corredor de circulação de fluidos, preenchido pela paragênese calcopirite + pirite  $\pm$  esfalerite + carbonatos, relativo a amostra já representada na foto 5.2E. Exemplo de textura de substituição. Observa-se aqui uma intensa substituição de pirite por calcopirite (zone refining) [D - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 5X]; **E – Amostra 13002-45:** zona de corredor de cisalhamento onde se destaca a concentração de minerais opacos de comportamento dúctil, no caso concreto a esfalerite, visivelmente afetada pela “doença da calcopirite”. A pirite e a arsenopirite (Apy) surgem igualmente nesta zona, ainda que exibam comportamentos mais frágeis; a deformação que é igualmente marcada por bandas laterais de sericite grosseira [E - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 40X]; **F – Amostra 13002-46:** cloritito representado na figura 5.2 F. Rocha dominada por uma paragênese sulfuretada constituída por pirite  $\pm$  arsenopirite + calcopirite + esfalerite. A pirite e calcopirite visíveis concentram-se em veios dominados pela presença de carbonatos. Destaca-se nesta lâmina polida, a presença de quantidades apreciáveis de arsenopirite, na sua maioria na dependência de planos C e quase sempre associada à pirite. Os cristais de arsenopirite exibem frequentemente hábito euédrico (subsecções losangulares) e faces bem desenvolvidas, devido à sua forte energia de cristalização. [F - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 10X]; **G – Amostra 13002-55:** Cloritito fortemente mineralizado. A piritização precoce dos silicatos é mascarada pela substituição pervasiva da pirite pela calcopirite e consequente enriquecimento em cobre. Esta substituição pode ser potenciada pela fracturação de alguns cristais de pirite (em baixo, lado direito). Evidencia-se igualmente nesta imagem a associação entre a calcopirite, a esfalerite e a tenantite-tetraedrite (Tnt-Trt), este último ocorrendo em quantidades apreciáveis na lâmina polida em questão [G - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 10X]; **H – Amostra 12001-29:** zona de veio mineralizado. Textura bandada e fortemente deformada, com predomínio de uma paragênese sulfuretada constituída por pirite  $\pm$  esfalerite  $\pm$  calcopirite, englobada por uma matriz silicatada dominada por sericite e clorite. A calcopirite surge em quantidades muito reduzidas nesta amostra, acima de tudo e como a imagem evidencia, em estreita associação com a esfalerite em processo de substituição [H - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 40X]. Abreviaturas das fases minerais segundo Whitney & Evans (2010)..... 49

**Figura 5.4 (Página seguinte)** - Fotomicrografias de lâminas polidas representativas de rochas vulcânicas félsicas (Tufo da Mina) variavelmente afetadas pela alteração hidrotermal mineralizante do tipo 2a. **A – Amostra 13002-61:** amostra proximal ao eixo de alteração clorítica. Verifica-se uma pronunciada sericitização e silicificação da rocha, sobreposta à cloritização mais expressiva e associada à circulação hidrotermal mineralizante [A – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **B – Amostra 13002-64:** Zona de veio mineralizado constituído por pirite e quartzo recristalizado e deformado (em fita), em associação com uma matriz muito sericitizada [B – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **C – Amostra 13002-67:** Veio mineralizado (à direita) constituído pela associação quartzo + pirite + clorite, recortando uma matriz quartzo-sericítica (à esquerda). A deformação é expressa pela recristalização dos elementos que preenchem o veio, no qual se observa o quartzo e a clorite estirados bem como o hábito cúbico da pirite bem definido por alguns cristais. [C – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **D – Amostra 13002-70:** rocha com sericitização intensa da matriz ainda que globalmente evidencie zonas – “ilhas” – intersticiais menos alteradas e precoces. A textura aqui exibida apresenta um fabric tectónico marcado pela orientação da sericite, na qual é possível destringar alinhamentos relativos a S2 – junto ao limite direito da foto E. Algumas venulações constituídas por quartzo + sulfuretos + clorites apresentam apertados dobramentos. Face a este incremento da deformação expresso pela penetratividade textural da sericite não é de excluir a aproximação a uma possível zona de falha [D – Luz transmitida; nicóis cruzados;

Ampliação: 50X]; **E – Amostra 13002-70:** Detalhe da imagem D. Destaca-se a mineralogia de opacos que ainda é possível observar na zona limite da sondagem. Ainda que o domínio relativo da pirite seja quase total, observam-se raras lenticulas de esfalerite no interior na matriz filossilicatada, decorrente da remobilização dúctil [E – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 100X]; **F e F’ – Amostra 12001-32:** rocha dominada por uma sericitização fina e extensa da matriz, na qual a alteração está ainda fortemente condicionada por veios hidrotermais, ora exclusivamente constituídos por quartzo, ora preenchidos pela associação quartzo, clorite e pirite. A sericite matricial pode, nesta rocha, ser acompanhada por uma fração carbonatada igualmente fina, e englobar (raras) relíquias de feldspato [F – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X; F’ – Luz refletida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X]; **G – Amostra 12001-32:** Zona complementar da rocha descrita anteriormente (F e F’), na qual se destaca o dobramento ptigmático de um veio de quartzo, decorrente da deformação sobreposta [G – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **H – Amostra 12001-34:** rocha vulcânica de textura porfírica, com vincada sericitização fina da matriz. Esta rocha exibe, por isso, um importante acréscimo de relíquias de feldspato presentes, por vezes silicificados, e quase sempre enquadrados por bandas sericíticas e sombras de deformação. A silicificação, quer matricial, quer por instalação de veios de quartzo ante-deformação é visivelmente inferior relativamente a amostras (e.g. 12001-32) mais proximais. A sulfuretização é incipiente, com a distribuição pontual de diminutos cristais de pirite pela matriz [H – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]..... 52

**Figura 5.5 (Página seguinte)** – Fotomicrografias de lâminas polidas representativas de rochas vulcânicas félsicas (Tufo da Mina) variavelmente afetadas pela alteração hidrotermal mineralizante do tipo 3. **A – Amostra 13001-8:** rocha porfírica bastante sericitizada constituída por feldspatos muito alterados e com uma vincada carbonatização sobreposta (representada macroscopicamente na figura 5.1 G). A imagem permite a visualização de uma zona particularmente alterada na qual predominam cristais de pirite disseminados numa matriz muito sericitizada. A estes associam-se sombras de pressão preenchidas por quartzo recristalizado e deformado (em fita), demonstrativos de algum tectonismo. A matriz fina e precoce pode ainda ser observada em diversos domínios da lâmina polida, estando por vezes englobada por espessas bandas de carbonatos sin-metalogenéticos [A – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **B – Amostra 13001-10:** rocha texturalmente muito semelhante à descrita anteriormente, com uma sericitização fina mas por vezes intensa da matriz, na qual se observam relíquias de feldspato por vezes incompletamente alterados. A relíquia visível na imagem encontra-se numa posição “natural” e relativamente preservada de processos de deformação [B – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **C – Amostra 13001-14:** rocha caracterizada por uma forte silicificação (quartzo hidrotermal) e sericitização intensa. Matriz e estruturas primárias foram quase totalmente obliteradas face ao grau de alteração e à recristalização das diversas fases minerais. Fabric tectónico mais pronunciado relativamente às rochas anteriores [C – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 100X]; **D – Amostra 13001-17:** rocha localizada na base do pacote de vulcânicas de teto, de forte penetratividade textural, marcada por bandas de sericite de espessura variável. Estas bandas de sericite alternam frequentemente com domínios variavelmente alterados, percorridos por veios de carbonatos, por vezes deformados e cominuídos, bem como de quartzo hidrotermal [D – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **E – Amostra 13002-8:** rocha vulcânica porfírica já representada nas figuras 5.1 E, F, H. A imagem permite a visualização de uma relíquia de feldspato parcialmente alterada para sericite, e inserida numa matriz fortemente sericitizada. É no entanto possível vislumbrar domínios da matriz quartzo-clorítica, não afetados pela alteração mineralizante, em zonas de deformação adjacentes ao fenocristais de feldspato [E – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 50X]; **F – Amostra 13002-10:** rocha porfírica que evidencia um acréscimo da deformação tectonometamórfica, expresso por um fabric mais penetrativo e pronunciado da matriz sericitizada, bem como dos contornos e alinhamento da relíquia de feldspato. São visíveis nesta amostra alguns domínios da matriz mais cloritizados [F – Luz transmitida; nicóis cruzados;

Ampliação: 50X]; **G – Amostra 12001-13:** rocha vulcânica afetada por alteração muito pronunciada, dominada pela sericitização fina da matriz que abrange, inclusive, as zonas de deformação associadas às relíquias de feldspato. Estas relíquias, por sua vez, apresentam-se extremamente sericitizadas (e silicificadas) sendo por vezes contornadas por bandas finas e regulares de sericite. Nesta rocha os carbonatos são frequentes, quer no seio de veios que recortam a matriz, quer finamente disseminados juntamente com a sericite [G – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **H – Amostra 12001-17:** amostra de rocha suprajacente à lentícula de minério onde a alteração hidrotermal não se revela tão intensa como em níveis superiores, havendo a preservação parcial da matriz constituída essencialmente por quartzo e clorite de grão finos. Os domínios de rocha mais sericitizados evidenciam uma transposição tectonometamórfica bem vincada (canto superior esquerdo) [H – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]. ..... 55

**Figura 5.6** – Representação da zonalidade de alteração mineralizante observada em corte, sob a massa de Estação, segundo o perfil NW. Inclusão, no canto superior direito, da representação esquemática do rebatimento horizontal do contorno do minério maciço (linha a negro; departamento de geologia da Almina S.A.; não publicado) e das zonas de alteração hidrotermal definidas neste estudo, com a projeção da localização e orientação dos três perfis estudados (a amarelo, o perfil representado em corte)..... 58

**Figura 5.7** – Representação da zonalidade de alteração mineralizante observada em corte, sob a massa de Estação, segundo o perfil Central. Inclusão, no canto superior direito, da representação esquemática do rebatimento horizontal do contorno do minério maciço (linha a negro; departamento de geologia da Almina S.A.; não publicado) e das zonas de alteração hidrotermal definidas neste estudo, com a projeção da localização e orientação dos três perfis estudados (a amarelo, o perfil representado em corte)..... 59

**Figura 5.8** – Representação da zonalidade de alteração mineralizante observada em corte, sob a massa de Estação, segundo o perfil SE. Inclusão, no canto superior direito, da representação esquemática do rebatimento horizontal do contorno do minério maciço (linha a negro; departamento de geologia da Almina S.A.; não publicado) e das zonas de alteração hidrotermal definidas neste estudo, com a projeção da localização e orientação dos 3 perfis estudados (a amarelo, o perfil representado em corte). ..... 60

**Figura 5.9 (Página seguinte)** – Fotomicrografias de lâminas polidas representativas do minério maciço. **A – Amostra 13001-18:** minério sub-maciço, no qual se observa um predomínio de pirite maciça ou disseminada, geralmente euédrica. A calcopirite observa-se em preenchimentos de zonas de fracturação da pirite, bem como incluída no interior da esfalerite (“doença da calcopirite”), ocorrendo orientada por alinhamentos cristalográficos daquele mineral. A imagem evidencia ainda a presença de carbonatos (cinza mais escuro) no preenchimento de espaços intersticiais entre minerais sulfuretados [A – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 100X]; **B – Amostra 13001-18:** zona de minério maciço. Destaque para a relação paragenética e textural entre a calcopirite, esfalerite e galena, e a pirite, mais competente. Os minerais de comportamento mais plástico, associam-se no preenchimento de fraturas da pirite, potenciando a sua substituição [B – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 400X]; **C – Amostra 13002-15:** exemplar de minério maciço com predomínio de pirite, ± esfalerite, que apresenta variações texturais em diversos sectores da imagem. Do lado esquerdo, observam-se pequenas estruturas piríticas irregulares e anédricas, colomórficas e de predominante concentricidade, evidenciando a conservação de texturas primárias de deposição. Destaque para o preenchimento de algumas dessas estruturas por esfalerite. Do lado direito, a pirite apresenta-se mais euédrica e recristalizada, conservando espaços no seu interior preenchidos por minerais transparentes. Os carbonatos preenchem os espaços matriciais entre os sulfuretos [C – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 100X]; **D – Amostra 13002-15:** detalhe da imagem C. Destaque para as mesmas estruturas concêntricas e colomórficas, bem como raros agregados regulares de pirite (frambóides)

(centro, topo). A matriz carbonatada exibe maclas típicas bem visíveis (canto superior direito) [D – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 400X]; **E e E’ – Amostra 13002-16:** Exemplos de recristalização e brechificação de sulfuretos de comportamento frágil (e.g. pirite), na proximidade de planos de cisalhamento. A arsenopirite, de hábito euédrico e de maior reflectância, surge frequentemente associada a estas zonas [E – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 50X]; **F – Amostra 13002-19:** mineralização pirítica incorporando quantidades significativas de galena e de esfalerite, no interior da qual se observam exsoluções de calcopirite. Observam-se inclusões de galena em cristais de pirite e em zonas de predomínio da esfalerite (substituição) [F – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 400X]; **G – Amostra 13002-32:** zona de mineralização pirítica. Veio de esfalerite, calcopirite e galena no interior de pirite maciça. Texturalmente destacam-se as exsoluções de calcopirite no interior da esfalerite e os triângulos de arrancamento característicos da galena [G – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 400X]; **H – Amostra 13002-33:** minério maciço pirítico-esfalerítico. Esfalerite bandada. Observação de pirite fortemente substituída por esfalerite: corrosão de cristais de pirite pela esfalerite com exibição de texturas em cárie (centro) [H – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 50X]..... 63

**Figura 5.10 (Página seguinte)** – Fotomicrografias de lâminas polidas representativas do minério maciço. **A – Amostra 12001-22:** minério zincífero. Zona de predomínio de esfalerite + galena. Texturas de substituição da pirite pela esfalerite. O quartzo surge como preenchimento de espaços intersticiais entre minerais sulfuretados [A – Luz refletida; nicóis cruzados; Ampliação: 100X]; **B – Amostra 12001-23:** minério zincífero. Corredor de esfalerite a substituir pirite. Em baixo, à direita, observa-se uma massa sub-colomórfica de pirite incompletamente recristalizada [B – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 50X]; **C – Amostra 12001-23:** predomínio de pirite e esfalerite. Em quantidades inferiores observa-se a presença de tenantite-tetraedrite (ao centro). A arsenopirite presente na imagem está visivelmente associada aos bordos recristalizados da pirite [C – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 400X]; **D – Amostra 12001-25:** zona de pirite maciça percorrida por veio de quartzo, esfalerite e calcopirite. Juntamente com estes dois sulfuretos, a galena surge a preencher microfraturas no interior da pirite [D – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 100X]; **E – Amostra 12001-26:** mineralização maciça pirítica, intensamente fraturada e brechificada, cujos interstícios são preenchidos por calcopirite, tenantite-tetraedrite, e rara galena [E – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 100X]; **F – Amostra 12001-26:** detalhe da imagem E. Destaque para a paragénese pirite + calcopirite + tenantite-tetraedrite ± galena. Evidências texturais de substituição da pirite pela calcopirite, e da pirite + calcopirite pela tenantite-tetraedrite [F – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 400X]..... 65

**Figura 6.1** – Diagrama de correlação de Fe vs Fe/(Fe+Mg) em função de 3 parâmetros associados: zona de alteração, modo de ocorrência e perfil. Projecção e comparação com dados de Feitais (Barriga, 1983) - ; Gavião (Relvas, 1991) - ; Neves Corvo (Relvas, 2000) - ..... 69

**Figura 6.2** – Diagrama de correlação  $Al^{VI}$  vs  $Al/(Al+Fe+Mg)$ , em função de 3 parâmetros associados: zona de alteração, modo de ocorrência e perfil. Projecção e comparação com dados de Feitais (Barriga, 1983) - ; Gavião (Relvas, 1991) - ; Neves Corvo (Relvas, 2000) - ..... 69

**Figura 6.3** Variedade composicional de clorites originadas durante os episódios de alteração mineralizantes (Diagrama de Hey, 1954, in Deer et al., 1992) ..... 70

**Figura 6.4** – Diagrama de correlação de Fe vs Ca+Na+K, em função de três parâmetros associados: zona de alteração, modo de ocorrência e perfil ..... 71

**Figura 6.5** – Diagrama de correlação de Fe vs  $10(Mn/Fe)$  em função de três parâmetros associados: zona de alteração, modo de ocorrência e perfil ..... 72

**Figura 6.6** – Diagrama de correlação de  $Mg/(Mg+Fe)$  vs Na/Na+K em função de 2 parâmetros associados: zona de alteração e perfil. Projecção e comparação com dados de Feitais (Barriga, 1983) - ; Gavião (Relvas, 1991) - ; Neves Corvo (Relvas, 2000) - ..... 76

<b>Figura 6.7</b> – Diagrama de correlação de $Al_2O_3/SiO_2$ vs $Na/(Na+K)$ em função de 2 parâmetros associados: zona de alteração e perfil. Projeção e comparação com dados de Feitais (Barriga, 1983) - ; Gavião (Relvas, 1991) - ; Neves Corvo (Relvas, 2000) - .....	77
<b>Figura 6.8</b> Diagrama de correlação de $Mg+Fe$ vs $Al^{VI}$ em função de 2 parâmetros associados: zona de alteração e perfil. Projeção e comparação com dados de Feitais (Barriga, 1983) - ; Gavião (Relvas, 1991) - ; Neves Corvo (Relvas, 2000) - .....	77
<b>Figura 6.9</b> – Diagrama de correlação de $Mg(CO_3)$ vs $Fe(CO_3)$ de ankerites e calcites, em função do perfil associado.....	81
<b>Figura 6.10</b> – Diagrama de correlação de $Mg(CO_3)$ vs $Fe(CO_3)+Mg(CO_3)+Mn(CO_3)$ de ankerites e calcites, em função do perfil associado.....	82
<b>Figura 6.11</b> – Fotomicrografia da amostra ES13002-59 evidenciando a evolução do fluido hidrotermal em função da química dos carbonatos.....	82
<b>Figura 7.1</b> – Projeção de razões de elementos imóveis das amostras de rochas vulcânicas félsicas encaixantes das mineralizações de Estação (riólitos EA, EB e EC), nos diagramas discriminantes de Barrett et al. (2008) para as rochas vulcânicas encaixantes das massas de Aljustrel, com indicação dos campos definidos pelas amostras estudadas por aqueles autores. A – Diagrama $Al_2O_3/TiO_2$ vs $Zr/TiO_2$ ; B – Diagrama $Al_2O_3/TiO_2$ vs $Zr/Al_2O_3$ ; C – Diagrama $Al_2O_3/TiO_2$ vs $Zr/Y$ (adaptado de Barrett et al. (2008)); D - Diagrama $Zr/Nb$ vs $Zr/Y$ .....	87
<b>Figura 7.2</b> – Projeção de concentrações em elementos imóveis das amostras de rochas vulcânicas félsicas encaixantes das mineralizações de Estação (riólitos EA, EB e EC). Sobreposição das elipses que circunscrevem as áreas de projeção dos termos félsicos equivalentes de Barrett et al. (2008). A – Diagrama $TiO_2$ vs $Al_2O_3$ ; B - Diagrama $Zr$ vs $TiO_2$ ; C - Diagrama $Zr$ vs $Hf$ .....	89
<b>Figura 7.3</b> – Projeção das concentrações de elementos maiores das amostras de rochas félsicas menos alteradas, segundo o tipo de alteração dominante. A – $(FeO+MgO)/Al_2O_3$ vs $(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$ ; B – $FeO$ vs $MgO$ .....	89
<b>Figura 7.4</b> – “Alteration box-plot”: diagrama binário de correlação envolvendo o Índice de Alteração (IA, Ishikawa et al., 1976) e o Índice Clorite-Carbonato-Pirite (CCPI, Large et al., 2001). A – Representação das áreas de alteração diagenética e hidrotermal; B – Projeção de trends associados à alteração hidrotermal mineralizante (modificado a partir de Large et al., 2001) .....	91
<b>Figura 7.5</b> – “Alteration box-plot”: projeção das amostras de riólitos pouco mineralizados de Estação com os respetivos trends de alteração hidrotermal associados (trend 2 - sericite + clorite ± (pirite); trend 3 - clorite ± sericite ± pirite; segundo Large et al. (2001). IA – Índice de Alteração, Ishikawa et al. (1976); CCPI – Índice Clorite-Carbonato-Pirite, Large et al. (2001).....	92
<b>Figura 7.6</b> – Espectro de elementos de Terras Raras (La – Lu) dos riólitos pouco mineralizados de Estação. Projeção dos 3 tipos de riólitos identificados e sua comparação com os riólitos A, B e C de Feitais (x10; Barrett et al. (2008); A – valor médio de 2 amostras; B e C análises tomadas por aqueles autores como sendo representativos). Normalização de todas as concentrações relativamente ao condrito carbonáceo CI de McDonough e Sun, (1995).....	93
<b>Figura 7.7</b> – Projeção de concentrações em elementos imóveis das amostras de stockwork do jazigo de Estação. A – Diagrama $Ta$ vs $Nb$ ; B - Diagrama $Zr$ vs $Hf$ ; C - Diagrama $Zr$ vs $Y$ .....	96
<b>Figura 7.8</b> – Projeção de razões de elementos imóveis das amostras de rochas variavelmente mineralizadas do stockwork do jazigo de Estação, nos diagramas discriminantes de Barrett et al. (2008) para as rochas vulcânicas encaixantes das massas de Aljustrel, com indicação dos campos definidos pelas amostras estudadas por aqueles autores. A – Diagrama $Al_2O_3/TiO_2$ vs $Zr/TiO_2$ ; B - Diagrama $Al_2O_3/TiO_2$ vs $Zr/Al_2O_3$ ; C - Diagrama $Al_2O_3/TiO_2$ vs $Zr/Y$ .....	97
<b>Figura 7.9</b> – “Alteration box-plot”: projeção das amostras de riólitos variavelmente mineralizados do stockwork de Estação, com o respetivo trend de alteração hidrotermal associado (trend 4: clorite – carbonatos, segundo Large et al., 2001).....	98

<b>Figura 7.10</b> – Espectro de elementos de Terras Raras (La – Lu) dos riólitos mineralizados do stockwork de Estação e sua comparação com os riólitos A, B e C de Feitais (x10; Barrett et al. (2008); A – valor médio de 2 amostras; B e C representativos). Normalização de todas as concentrações relativamente ao condrito carbonáceo CI de McDonough e Sun (1995).....	99
<b>Figura 7.11</b> – Projeção das amostras de stockwork e minério maciço. A - Cu+Zn+Pb (ppm) vs S (%); B - “zinc-lead ratio” vs “Cu ratio” .....	100
<b>Figura 7.12</b> – Projeção das concentrações de SiO <sub>2</sub> vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> nas amostras de stockwork e minério maciço de Estação. Projeção da composição dos riólitos dominantes na sequência de muro: Estação – riólito EA; Feitais – riólito A (Barrett et al. (2008). Evolução do sistema mineralizante e mecanismos de substituição. (1) - Trend de substituição; (2) – Trend de silicificação.....	101
<b>Figura 8.1</b> – Mineralogia automática: fotomicrografias de imagens digitais de cores “falsas” geradas por MLA (A-D), obtidas a partir de imagens de ERD (A’- D’). Amostras representativas de stockwork (A e A’; B e B’) e minério maciço (C e C’; D e D’). A e A’ – amostra ES13002-56; B e B’ – amostra ES13001-18; C e C’ – amostra ES13002-32; D e D’ – amostra ES12001-26. ....	103
<b>Figura 8.2</b> – Diagrama ilustrativo dos perfis de composição modal de cada uma das 10 amostras analisadas. Projeção de valores percentuais estimados (em área), iguais ou superiores a 0,01% .....	104
<b>Figura 8.3</b> – Diagrama ilustrativo dos perfis de composição química elementar para cada uma das 10 amostras analisadas. Projeção de valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt % ....	105
<b>Figura 11.1</b> – Diagrama de avaliação qualitativa das proporções relativas dos principais sulfuretos observados em cada lâmina polida. ....	153
<b>Figura 11.2</b> – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13001-18, gerada por MLA através do método GXMAP.....	190
<b>Figura 11.3</b> – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13001-21, gerada por MLA através do método XBSE.....	191
<b>Figura 11.4</b> – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13001-25, gerada por MLA através do método XBSE.....	192
<b>Figura 11.5</b> – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13001-28, gerada por MLA através do método XBSE.....	193
<b>Figura 11.6</b> – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13002-19, gerada por MLA através do método XBSE.....	194
<b>Figura 11.7</b> – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13002-32, gerada por MLA através do método GXMAP.....	195
<b>Figura 11.8</b> – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13002-45, gerada por MLA através do método GXMAP.....	196
<b>Figura 11.9</b> – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13002-56, gerada por MLA através do método GXMAP.....	197
<b>Figura 11.10</b> – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES12001-23, gerada por MLA através do método XBSE.....	198
<b>Figura 11.11</b> – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES12001-26, gerada por MLA através do método XBSE.....	199



## Lista de Tabelas

---

<b>Tabela 2.1</b> – Tonelagens e teores dos depósitos minerais mais importantes da FPI. (Relvas, 2002).....	9
<b>Tabela 2.2</b> – Estimativas de recursos de zinco e cobre no depósito de Aljustrel (Wardell Armstrong Internacional, 2007).....	19
<b>Tabela 6.1</b> – Estatística descritiva das clorites analisadas em veios e matriz, no jazigo de Estação, em função da respetiva zona de alteração hidrotermal - mineralizante.....	73
<b>Tabela 6.2</b> – Estatística descritiva das sericites analisadas no Jazigo de Estação em função da respetiva zona de alteração hidrotermal – mineralizante.....	79
<b>Tabela 6.3</b> – Estatística descritiva dos carbonatos analisados (calcites e ankerites).....	83
<b>Tabela 7.1</b> – Análises de geoquímica de rocha total das rochas vulcânicas félsicas pouco mineralizadas de Estação.....	86
<b>Tabela 7.2</b> – Análises de geoquímica de rocha total das rochas vulcânicas félsicas variavelmente alteradas e mineralizadas de Estação.....	95
<b>Tabela 8.1</b> – Análise modal dos principais minerais identificados. Valores percentuais estimados (em área), iguais ou superiores a 0,01%.....	104
<b>Tabela 8.2</b> – Análises químicas estimadas, expressas em concentrações elementares iguais ou superiores a 0,01 wt%. Os elementos Th, Nb, Ta, W, Ag, Nd, Sm, Gd, Dy, não constam nesta tabela por apresentarem concentrações < 0,01% ou nulas.....	105
<b>Tabela 11.1</b> - Re-logging da sondagem ES13001 .....	123
<b>Tabela 11.2</b> – Re-logging da sondagem ES13001 (cont.) .....	124
<b>Tabela 11.3</b> – Re-logging da sondagem ES13001 (cont.) .....	125
<b>Tabela 11.4</b> – Re-logging da sondagem ES13001 (cont.) .....	126
<b>Tabela 11.5</b> – Re-logging da sondagem ES13001 (cont.) .....	127
<b>Tabela 11.6</b> – Re-logging da sondagem ES13001 (cont.) .....	128
<b>Tabela 11.7</b> – Re-logging da sondagem ES13002.....	130
<b>Tabela 11.8</b> – Re-logging da sondagem ES13002 (cont.) .....	131
<b>Tabela 11.9</b> – Re-logging da sondagem ES13002 (cont.) .....	132
<b>Tabela 11.10</b> – Re-logging da sondagem ES13002 (cont.) .....	133
<b>Tabela 11.11</b> – Re-logging da sondagem ES13002 (cont.) .....	134
<b>Tabela 11.12</b> – Re-logging da sondagem ES13002 (cont.) .....	135
<b>Tabela 11.13</b> – Re-logging da sondagem ES12001.....	137
<b>Tabela 11.14</b> – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.) .....	138
<b>Tabela 11.15</b> – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.) .....	139
<b>Tabela 11.16</b> – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.) .....	140
<b>Tabela 11.17</b> – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.) .....	141
<b>Tabela 11.18</b> – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.) .....	142
<b>Tabela 11.19</b> – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.) .....	143
<b>Tabela 11.20</b> – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.) .....	144
<b>Tabela 11.21</b> – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.) .....	145
<b>Tabela 11.22</b> – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.) .....	146
<b>Tabela 11.23</b> – Métodos de estudo e análise adotados para cada amostra da sondagem ES13001....	148
<b>Tabela 11.24</b> – Métodos de estudo e análise adotados para cada amostra da sondagem ES13002....	149
<b>Tabela 11.25</b> – Métodos de estudo e análise adotados para cada amostra da sondagem ES13002 (cont.) .....	150
<b>Tabela 11.26</b> – Métodos de estudo e análise adotados para cada amostra da sondagem ES12001....	151
<b>Tabela 11.27</b> – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respetivo perfil .....	156

<b>Tabela 11.28</b> – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respetivo perfil (cont.).....	157
<b>Tabela 11.29</b> – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respetivo perfil (cont.).....	158
<b>Tabela 11.30</b> – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respetivo perfil (cont.).....	159
<b>Tabela 11.31</b> – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respetivo perfil (cont.).....	160
<b>Tabela 11.32</b> – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respetivo perfil (cont.).....	161
<b>Tabela 11.33</b> – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respetivo perfil (cont.).....	162
<b>Tabela 11.34</b> – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respetivo perfil (cont.).....	163
<b>Tabela 11.35</b> – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil.....	165
<b>Tabela 11.36</b> – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.).....	166
<b>Tabela 11.37</b> – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.).....	167
<b>Tabela 11.38</b> – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.).....	168
<b>Tabela 11.39</b> – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.).....	169
<b>Tabela 11.40</b> – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.).....	170
<b>Tabela 11.41</b> – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.).....	171
<b>Tabela 11.42</b> – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.).....	172
<b>Tabela 11.43</b> – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.).....	173
<b>Tabela 11.44</b> – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.).....	174
<b>Tabela 11.45</b> – Análises de carbonatos classificadas segundo o respetivo perfil.....	176
<b>Tabela 11.46</b> – Análises de carbonatos classificadas segundo o respetivo perfil (cont.).....	177
<b>Tabela 11.47</b> – Análises de carbonatos classificadas segundo o respetivo perfil (cont.).....	178
<b>Tabela 11.48</b> – Análises de carbonatos classificadas segundo o respetivo perfil (cont.).....	179
<b>Tabela 11.49</b> – Análises de carbonatos classificadas segundo o respetivo perfil (cont.).....	180
<b>Tabela 11.50</b> – Análises de carbonatos classificadas segundo o respetivo perfil (cont.).....	181
<b>Tabela 11.51</b> – Análises de feldspatos classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal.....	183
<b>Tabela 11.52</b> – Análises de feldspatos classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal (cont.).....	184
<b>Tabela 11.53</b> – Métodos analíticos e respetivos limites de deteção utilizados para cada elemento analisado.....	186
<b>Tabela 11.54</b> – Métodos analíticos e respetivos limites de deteção utilizados para cada elemento analisado (cont.).....	187

<b>Tabela 11.55</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-18. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%.....	201
<b>Tabela 11.56</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-18. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.).....	202
<b>Tabela 11.57</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-21. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%.....	203
<b>Tabela 11.58</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-21. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.).....	204
<b>Tabela 11.59</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-25. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%.....	205
<b>Tabela 11.60</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-25. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.).....	206
<b>Tabela 11.61</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-28. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%.....	207
<b>Tabela 11.62</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-28. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.).....	208
<b>Tabela 11.63</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13002-19. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%.....	209
<b>Tabela 11.64</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13002-19. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.).....	210
<b>Tabela 11.65</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13002-32. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%.....	211
<b>Tabela 11.66</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13002-32. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.).....	212
<b>Tabela 11.67</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-45. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%.....	213
<b>Tabela 11.68</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-45. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.).....	214
<b>Tabela 11.69</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-56. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%.....	215
<b>Tabela 11.70</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-56. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.).....	216
<b>Tabela 11.71</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES12001-23. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%.....	217
<b>Tabela 11.72</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES12001-23. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.).....	218
<b>Tabela 11.73</b> – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES12001-26. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%.....	219
<b>Tabela 11.74</b> – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13001-18, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite.....	221
<b>Tabela 11.75</b> – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13001-18, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite (cont.).....	222
<b>Tabela 11.76</b> – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13001-21, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados	



fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite.....	235
<b>Tabela 11.89</b> – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES12001-23, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite.....	236
<b>Tabela 11.90</b> – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES12001-23, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite (cont.).....	237
<b>Tabela 11.91</b> – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES12001-26, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite.....	238

## 1. Introdução

---

A Faixa Piritosa Ibérica (FPI) é considerada uma das mais importantes e produtivas províncias metalogenéticas a nível mundial para jazigos de sulfuretos maciços polimetálicos (VMS; *e.g.*, Barriga, 1983; 1990; Relvas, 1991; Carvalho *et al.*, 1999), hospedando alguns dos mais significativos depósitos deste tipo que se conhecem atualmente. Ao longo das últimas décadas, as suas características geológicas singulares têm sido objeto de investigação científica a nível nacional e internacional, tanto no plano da geologia económica, como, em particular, no que respeita à sua metalogénese. A FPI e as mineralizações a ela associadas constituíram nos últimos anos uma área privilegiada para campanhas de prospeção e projetos de exploração mineira por parte de entidades públicas e empresas mineiras privadas.

A consolidação e aprofundamento dos conhecimentos sobre a FPI conduziram ao longo do tempo a uma contínua acumulação e integração de dados de áreas fundamentais como a litoestratigrafia, a geologia estrutural ou a geofísica, essenciais à caracterização geoestrutural dos potenciais alvos para prospeção mineira. Paralelamente, o contínuo desenvolvimento de metodologias fundamentais, associadas ao uso da geoquímica e análise química mineral, permitiram responder à necessidade de construção de modelos metalogenéticos mais precisos e úteis à prospeção. Nos últimos anos, a implementação de potentes ferramentas de mineralogia automática de última geração (*e.g.*, MLA – *Mineral Liberation Analyser*) veio também contribuir para a eficácia do processamento geometalúrgico do minério.

A região de Aljustrel contém mais de 200 Mt de sulfuretos maciços polimetálicos (*e.g.*, Barriga, 1983; Relvas, 1991; 2002; Barrett *et al.*, 2008) distribuídos por seis depósitos: São João, Moinho, Algarés, Gavião, Feitais e Estação. Os jazigos de Feitais e de Estação localizam-se no sector NE de Aljustrel, no designado Anticlinal de Feitais. Foram descritos como um corpo mineralizado único, rejeitado por um desligamento direito com cerca de 600 m de rejeito, ao longo de uma importante falha com expressão cartográfica – a falha da Represa. O jazigo de Estação é composto por uma massa mineralizada de sulfuretos polimetálicos (Cu-Zn-Pb), até hoje não explorada e relativamente pouco estudada, com cerca de 600 m de comprimento e 480 m de largura.

O estudo aqui apresentado foi desenvolvido no âmbito de uma dissertação de Mestrado em Geologia Económica do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (DGFCUL) e teve o apoio financeiro, técnico e logístico da empresa ALMINA – Minas do Alentejo S.A. A investigação incidiu sobre o jazigo de Estação, tendo sempre presente o contexto geológico em que se enquadra, em particular na sua relação com a massa de Feitais. Foram detalhadamente estudadas e amostradas três sondagens de superfície, cuidadosamente selecionadas em ordem à sua localização e à representatividade das suas intersecções. O principal objetivo do estudo consistiu na caracterização da alteração hidrotermal mineralizante que afeta as rochas a muro da massa de Estação e sua zonalidade espacial e temporal, recorrendo ao estudo das suas assinaturas mineralógicas, texturais e geoquímicas.

Numa perspetiva mais abrangente, este trabalho visa constituir-se como mais um contributo para o conhecimento geral da geologia de Aljustrel, incrementando a informação existente acerca da massa mineralizada de Estação e sua relação com o depósito de Feitais, presentemente em exploração. Pretende-se com isso oferecer uma visão mais rigorosa e completa, sobre as características metalogenéticas deste jazigo, no contexto do campo mineiro de Aljustrel e numa perspetiva de comparação com outros depósitos da FPI.

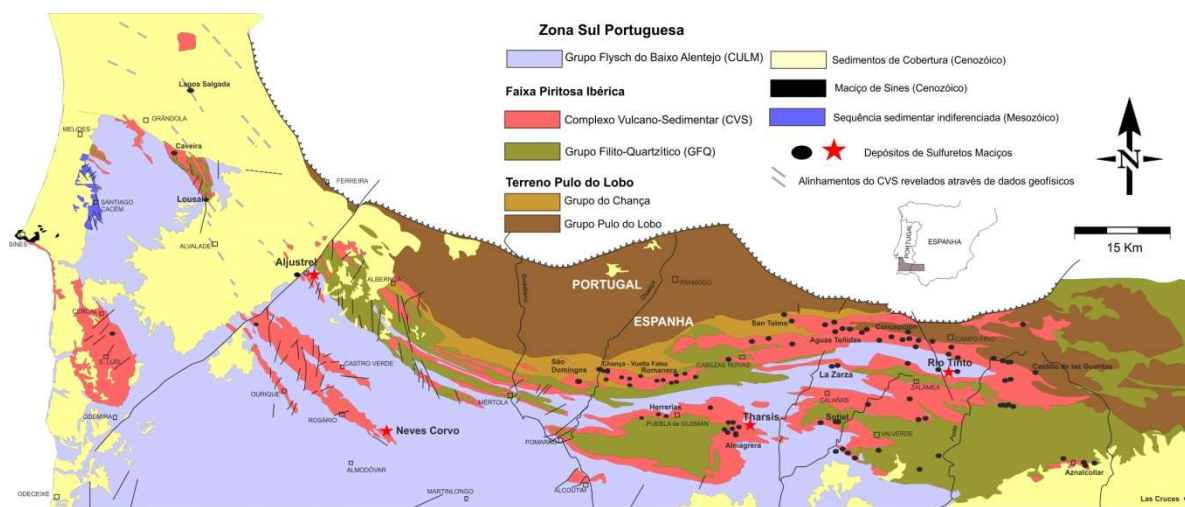
Este trabalho está estruturado em 9 capítulos que se complementam e intersectam nas ilações que os resultados reportados permitiram explorar. Após esta breve introdução, é apresentada, no capítulo 2, uma descrição das principais características geológicas da FPI, com especial enfoque nos depósitos

que se situam no seu sector português. Este enquadramento passa em revista a sequência litoestratigráfica geral da FPI, descreve as principais características metalogenéticas e de alteração hidrotermal das mineralizações associadas, e situa os jazigos de Estação e de Feitais no contexto do campo mineiro de Aljustrel. No capítulo 3, centrámo-nos na reinterpretação geoestrutural do corpo mineralizado de Estação, com base no *re-logging* detalhado de três sondagens, o que permitiu reconstituir a sequência litoestratigráfica local. No capítulo 4, descreve-se a amostragem realizada e os critérios que a ela presidiram e são apresentados de forma sumária os principais métodos e técnicas analíticas utilizados neste estudo. No capítulo 5, apresenta-se uma detalhada caracterização petrográfica, textural e paragenética das diferentes fácies de alteração hidrotermal, e usam-se essas observações para reconstituir a zonalidade de alteração mineralizante, a muro da massa de Estação. Os resultados mineralógicos apresentados no capítulo 6 serviram de suporte à caracterização composicional das principais fases minerais não sulfuretadas identificadas, e permitiram interpretar alguns aspetos da evolução termoquímica do sistema hidrotermal mineralizante. No capítulo 7, são apresentados os resultados de geoquímica de rocha total obtidos em amostras selecionadas, quer de *stockwork*, quer de minérios maciços, e procurou-se integrar toda a informação geoquímica disponível. Deu-se especial destaque à caracterização das assinaturas geoquímica das litótipos originais e aos efeitos da alteração hidrotermal mineralizante sobre as rochas, a partir das relações entre elementos imóveis. No capítulo 8, sumarizaram-se os dados de mineralogia automática, obtidos com recurso ao MLA. Estes resultados complementam e correlacionam-se de forma harmoniosa com as observações petrográficas e dados geoquímicos e mineralógicos expostos nos capítulos precedentes, dando um especial enfoque à mineralogia sulfuretada associada à alteração hidrotermal. Esta oportunidade de trabalhar com um sistema de análise mineralógica integrado tão robusto, disponibilizado pela ALMINA, deve ser destacada. Por fim, no capítulo 9, procurou-se sintetizar, integrar e discutir todos os dados e observações apresentados ao longo do trabalho. Esta caracterização final conduziu a um conjunto de considerações finais e critérios que visam contribuir para a compreensão de processos metalogenéticos associados a este depósito e que se podem revelar críticos nas etapas de prospeção mineral para novos alvos com interesse económico.

## 2. Enquadramento Geológico

### 2.1. Faixa Piritosa Ibérica

A FPI, considerada uma das mais importantes províncias metalogenéticas a nível mundial (e.g. Barriga, 1983; Relvas, 1991; Carvalho *et al.*, 1999; Rosa *et al.*, 2010), localiza-se no extremo SW da Península ibérica, ocupando uma área significativa a Sul e a SW dos territórios português e espanhol, respetivamente. Corresponde a terrenos constituídos genericamente por rochas vulcânicas e sedimentares enquadradas estratigraficamente entre o Devónico e o Carbónico (Carvalho, 1979; Barriga *et al.*, 1997; Carvalho *et al.*, 1999). Do ponto de vista geomorfológico, a zona que integra esta faixa corresponde a uma peneplanície fortemente erodida, que mergulha de forma suave para NW e SSE (Barriga *et al.*, 1997).



**Figura 2.1** – Mapa Geológico esquemático da Faixa Piritosa Ibérica, integrada nos terrenos da ZSP, com indicação e localização de alguns dos principais jazigos de VMS (modificada a partir de Tornos, 2006)

A Faixa Piritosa apresenta uma estrutura arqueada com cerca de 250 km de comprimento por 30 a 60 km de largura (Carvalho *et al.*, 1999), estende-se geograficamente entre a região de Grândola (Portugal) e a zona de Sevilha (Espanha), abrangendo uma área total aproximada de 12.500 km<sup>2</sup>. Esta estrutura arqueada apresenta uma variação da sua orientação geral, nomeadamente uma direção E-W na zona de Sevilha passando a NNW-SSE no bordo Atlântico do Maciço Ibérico, junto a Grândola (Carvalho, 1999). Destaca-se nesta variação, o incremento relativo da curvatura estrutural dos domínios da Faixa no território português, devido à evolução geotectónica regional.

A Zona Sul Portuguesa (ZSP), uma das principais unidades geotectónicas do Maciço Ibérico, constitui o extremo SW da porção ibérica do Orógeno Varisco (Carvalho, 1979; Ribeiro *et al.*, 1979) e é neste domínio que a FPI se encontra inserida. Além da FPI, que constitui um dos seus principais domínios, a ZSP inclui ainda a norte, o Antiforma do Pulo do Lobo, cujas unidades marcam a transição da ZSP para a Zona de Ossa Morena (ZOM), e a sul, o Grupo do Flysch do Baixo Alentejo (GFBA) e o Sector Sudoeste Português (Silva *et al.*, 1990; Carvalho *et al.*, 1999; Oliveira *et al.*, 2013).

Durante o Paleozóico superior, a orogenia Varisca (ou Hercínica) impulsionou a evolução tectono-estratigráfica e estrutural de alguns sectores da Europa Ocidental, nomeadamente os que constituem o Maciço Ibérico, como a ZSP, que apresenta uma estratigráfica correlacionável com estratos do sudoeste das Ilhas Britânicas (Irlanda e Inglaterra), e com as zonas Reno-Hercínica e Moravio-Silesiana (Barriga *et al.*, 1997; Carvalho *et al.*, 1999) localizadas na Europa Central (Fig.3.2).

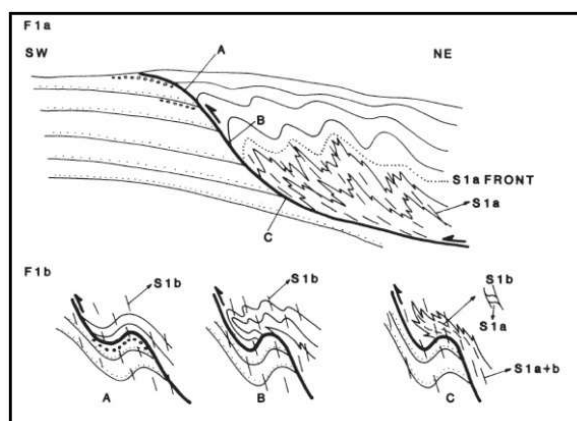




Os carreamentos associados aos dobramentos constituem complexos imbricados, progressivamente deslocados no mesmo sentido (SW), definindo estruturas do tipo *piggy-back* (Silva *et al.*, 1990), característicos do referido carreamento do tipo pelicular. Estas estruturas manifestam-se assim por empilhamentos e consequentes espessamentos crustais (Onézime *et al.*, 2002). Os cavalgamentos desenvolvidos nesta região estão muitas vezes associados aos dobramentos, sendo gerados por laminação dos flancos inversos das dobras achatadas (Carvalho *et al.*, 1979; Siva, 1990). Verifica-se também que a intensidade da deformação é de sentido contrário à vergência das dobras, com aumento progressivo para NE na aproximação à zona de sutura (Silva, 1990).

É possível ainda segmentar os efeitos da deformação Hercínica acima referidos, na FPI, a uma escala menor (Fig. 2.3), evidenciando algumas relações geométricas do modelo geodinâmico anterior. Neste intuito, pode-se definir uma fase inicial de deformação (F1a) com desenvolvimento de dobras amplas, por vezes deitadas, com uma clivagem associada (S1a) em níveis mais internos e profundos, carreadas sub-horizontalmente na base com progradação para SW. Uma segunda fase de deformação (F1b), tida como principal, foi acomodada pelo dobramento dos carreamentos e do aperto (ou redobramento) das dobras anteriores, com geração de uma clivagem regional (S1b) muito penetrativa. Esta clivagem diferencia-se em níveis mais profundos apenas em zonas de charneira de dobra onde não se verifica a transposição S1a+b verificada nos francos das mesmas (Carvalho, 1976; Ribeiro e Silva, 1983; Silva, 1990). Os cavalgamentos associados a rutura de flanco curto, referidos anteriormente, são potenciados pela clivagem penetrativa (S1b) gerada no decurso da deformação principal.

Nas etapas finais da deformação Hercínica, e posteriormente a esta, verifica-se a geração ou reativação de famílias de falhas com orientação diversa. As falhas mais importantes apresentam direção NE-SW e desligamento esquerdo, com destaque a nível regional para a falha da Messejana, às quais se associam outras, de direção NNW-SSE e desligamento direito, e conjugadas das anteriores (Carvalho, 1979). A falha da Messejana é bem expressa pela instalação do grande filão dolerítico do Alentejo. As falhas N-S com desligamento direito destacam-se na região de Aljustrel, onde induzem o rejeito de algumas massas mineralizadas (Relvas, 1991). Outras estruturas com menor expressão estão identificadas, nomeadamente as falhas de Vidigueira e Grândola com direção E-W, bem como as de direção ENE-WSW (Carvalho, 1979).



**Figura 2.3** – Relações geométricas e estruturais entre dobras e carreamentos na FPI (modificada a partir de Ribeiro *et al.*, 1983)

O metamorfismo regional na ZSP decorrente da deformação Hercínica é de baixo grau, em condições P-T situadas entre as fácies zeolítica e dos xistos verdes (Munhá, 1990). Tendo em conta o processo colisional e o aumento progressivo da deformação de Sul para Norte, verifica-se um incremento do grau metamórfico na mesma direção, ao longo da ZSP, bem como do topo para a base da sequência litoestratigráfica. O estudo levado a cabo com associações mineralógicas de rochas vulcânicas metamorfizadas e a análise da cristalinidade da Ilite em metassedimentos, permitiu estabelecer uma



localmente muito variável. Em termos regionais existe um predomínio de rochas sedimentares (75%) relativamente às rochas vulcânicas (25%) (Rosa *et al.*, 2010).

A componente sedimentar do CVS engloba um conjunto de litótipos diversos como siltitos (Oliveira *et al.*, 2013), xistos negros, cinzentos, verdes e púrpura, grauvaques e quartzovaques, e rochas siliciosas de precipitação química como chertes e jaspes (*e.g.*, Carvalho *et al.*, 1999). Estes últimos constituem o melhor nível litológico de referência regional presente na FPI, ocorrem intercalados no CVS em horizontes estratigráficos bem definidos, possuindo indubitável importância na prospeção mineral.

O magmatismo da FPI inclui manifestações intrusivas e extrusivas bimodais, evidenciando um conjunto de fácies vulcânicas muito variadas. O aprofundamento do conhecimento das fácies vulcânicas (vulcanologia física), incrementado nos últimos anos (*e.g.* Rosa *et al.*, 2010), permitiu a determinação de tipos e estilos de vulcanismo, ambientes deposicionais e relação entre fácies vulcânicas e depósitos minerais na FPI (Oliveira *et al.*, 2013).

As rochas vulcânicas fêlsicas, mais abundantes, com cerca de 75% (Tornos, 2006 *in* Rosa *et al.*, 2010) do total, apresentam composições dacíticas e riolíticas subalcalinas (Tornos, 2006), hospedando parte importante dos depósitos de sulfuretos maciços da FPI.

Os termos máficos, como os basaltos alcalinos e toleíticos, e sobretudo os andesíticos (raros), apresentam-se subordinados (25%) ao longo da cintura vulcânica, apesar da sua proporção relativa poder variar localmente de modo significativo. As rochas máficas surgem na sequência litoestratigráfica sob a forma de soleiras e diques intrusivos (Tornos, 2008), ou de escoadas lávicas em almofada (*pillow-lavas*). Segundo Carvalho *et al.* (1999), a quantidade de rochas máficas existentes na FPI poderá encontra-se subestimada devido aos processos de erosão e à cobertura Terciária. Estas rochas surgem ao longo de toda a sequência (Carvalho, 1979), mas destacam-se em termos estratigráficos, no topo da sequência do CVS em Portugal, e na base do mesmo, em Espanha.

**Grupo do Flysch do Baixo Alentejo (GFBA).** Esta unidade, datada do Viséano Superior ao Vestefaliano, apresenta uma espessa (>5000 m) sequência de sedimentos turbidíticos profundos (Oliveira *et al.*, 2013), na sua maioria constituídos por alternâncias rítmicas de xistos e grauvaques (Carvalho, 1979) com níveis de conglomerados intraformacionais que podem, à semelhança, das bancadas grauvacóides, conter litoclastos de natureza vulcânica com origem no CVS (Carvalho 1979; Barriga *et al.*, 1997). Na base desta possante sequência de sedimentos existem intercalações bem definidas de grauvaques e xistos carbonosos que marcam o início da sedimentação turbidítica.

No sector Este da FPI, em Espanha, este grupo (designado localmente por *Culm*) apresenta espessuras substancialmente menores, que raramente ultrapassam 500 m (Carvalho *et al.*, 1999).

As formações do GFBA evidenciam, como atrás referido, uma polaridade estratigráfica, evidenciando progradação sedimentar para SW e preenchimento progressivo da bacia ante-país (*foreland basin*) sin-orogénica (Rosa, 2010). Estas formações subdividem-se na ZSP em: Formação de Mértola, suprajacente ao CVS, sob o qual ocorrem em discordância (Carvalho *et al.*, 1999), a Formação de Mira e, depois, a Formação de Brejeira.

## **2.2. Jazigos Minerais da Faixa Piritosa Ibérica**

### **2.2.1. Introdução**

Em termos históricos, a exploração mineira na FPI abrange um período com cerca de 4500 anos (Tornos, 2008) durante os quais a extração mineira, focada essencialmente nos depósitos sub-superficiais e de fácil acesso, reduziu progressivamente os recursos minerais nesta província metalogenética (Leistel *et al.*, 1998). Destaca-se nesta história milenar o início da exploração na Idade

do Cobre (Calcolítico) (Carvalho *et al.*, 1999). Mais tarde, até ao século IV, o Império Romano explorou de forma considerável (> 20 Mt de minério) os metais preciosos (ouro e prata) e o cobre da FPI, com especial incidência para os depósitos resultantes de alteração supergénica de algumas massas de sulfuretos maciços aflorantes. A partir de finais do século XIX, e durante todo o século XX, a retoma da exploração processa-se por força do impulso dado por empresas francesas e britânicas no auge do desenvolvimento industrial na Europa (Tornos, 2008). Durante este período, verificou-se a exploração preferencial da pirite (fonte mineral de enxofre) para produção industrial de ácido sulfúrico, e de calcopirite (Tornos, 2008) contida nos depósitos com teores em cobre mais importantes. Esta linha de exploração é redirecionada no início do século XXI como resultado do incremento do valor dos metais básicos (Cu-Zn-Pb), o que permitiu a reabertura de algumas explorações em Portugal e Espanha cuja atividade decaiu em finais do século passado.

Existem atualmente cerca de 92 depósitos de sulfuretos maciços vulcanogénios conhecidos na FPI (Rosa *et al.*, 2010), distribuídos geograficamente de forma distinta pelos territórios português e espanhol. Esta distribuição é expressa pela figura (2.1) na qual se incluem os principais centros mineiros da FPI, alguns em plena exploração desde há várias décadas (*e.g.* Aljustrel, Neves-Corvo, Aguas Teñidas, Las Cruces) e outros em processo de retoma da atividade mineira, como já referido (*e.g.*, Rio Tinto).

Estima-se que o volume total de sulfuretos polimetálicos associados às mineralizações maciças da FPI ascenda a cerca de 1700 milhões de toneladas métricas (Mt), nos quais se incluem volumes explorados e reservas estimadas (Leistel *et al.*, 1998; Carvalho *et al.*, 1999). Considerando a área (12.500 km<sup>2</sup>) ocupada já indicada, por todos os depósitos conhecidos, importa destacar a extraordinária densidade espacial de mineralizações associadas à Faixa Piritosa, com cerca de 15.000 a 20.000 t de sulfuretos maciços por hectare (Ha) de área de CVS aflorante (Tornos, 2006; 2008). Estimou-se igualmente um teor em metais de 14.6 Mt de Cu, 13.0 Mt de Pb, e 34.9 Mt de Zn, com quantidades apreciáveis de metais preciosos como a prata (46.1 Kt) e o ouro (880 t) (Leistel *et al.*, 1998). Segundo Tornos *et al.* (2005) in Relvas (2000), um depósito médio da FPI apresenta cerca 30.1 Mt de sulfuretos maciços com teores associados de 0.85% Cu, 1.13% Zn, 0.53% Pb, 38.5 g/t Ag e 0.8% de Au. A tabela (2.1) resume a variação de tonelagens e teores dos mais importantes depósitos desta província mineira.

### 2.2.2. Tipologia de Depósitos

Os sulfuretos maciços polimetálicos da FPI apresentam uma estruturação geral típica de mineralizações VMS (Volcanogenic Massive Sulphides), semelhante à que se observa em ambientes metalogenéticos análogos, a nível global. No caso concreto, ocorrem sob forma de corpos maciços, com abundante pirite e uma variedade de outros minerais portadores de metais com interesse económico associados (*e.g.* calcopirite, esfalerite, galena, entre outros) e assentam em zonas de alimentação do sistema mineralizante (*stockwork*), tipicamente enraizadas em profundidade e discordantes estratigraficamente em relação ao corpo mineralizado principal. A estrutura mineralizada pode ser acompanhada a muro por padrões de alteração hidrotermal, de intensidade (refletida pelas paragénese secundárias) e morfologia variáveis.

As massas mineralizadas que constituem estes depósitos apresentam geometria lenticular ou estratiforme, podendo constituir estruturas alongadas com 4 a 5 km de extensão por 1.5 km de largura e chegar aos 100 m de possança. Ocorrem sob forma de corpos maciços polimetálicos (35-50% S), ou sob disseminações polimetálicas de sulfuretos (até 35% S), ou ainda em estruturas anastomosadas definidas por veios (o referido *stockwork*), também designadas como minério fissural (5-25% S) (Carvalho, 1999).

**Tabela 2.1 – Tonelagens e teores dos depósitos minerais mais importantes da FPI. (Relvas, 2002)**

Depósito	Tonelagem (Mt)	Cu (%)	Zn (%)	PB (%)	Sn (%)	Referências
<b>Rio Tinto</b>						
Sulfuretos (total)	>500	0,30	0,54	0,16		Garcia Palomero (1990)
Reservas	335	0,39	0,34	0,12		Garcia Palomero (1990)
<b>Neves Corvo</b>						
Sulfuretos (total)	>300	1,60	1,40	0,28	0,10	Carvalho, P. (1998, Comunicação pessoal)
Reservas	100	3,46	3,54	0,80	0,25	SOMINCOR (1998, dados não publicados)
<b>Aljustrel</b>	240	0,77	3,40	1,16		Leitão (1998)
<b>Tharsis</b>	110	0,50	2,70	0,60		Strauss and Madel (1974)
<b>La Zarza</b>	100	0,70	1,50	0,60		Strauss et al. (1981)
<b>Massa Valverde</b>	92	0,44	1,92	-		Costa and Parilla (1992)
<b>Aznalcóllar</b>	90	0,51	1,80	0,85		Pons et al. (1993)
<b>Sotiel</b>	75	0,56	3,60	1,34		IGME (1983, in Lestel et al., 1998)
<b>Los Frailes</b>	70	0,35	3,87	2,21		Pascual et al., 1997
<b>Migolas</b>	58	0,88	2,23	1,12		Santos et al., (1993)
<b>Concepcion</b>	56	0,57	0,48	0,19		Miner (1993, in Lestel et al., 1998)
<b>Lousal</b>	50	0,70	1,40	0,80		Thadeu (1989)
<b>Las Cruces</b>	45	2,92	2,54	1,49		Knight and Videura (1999)
<b>Agua Teñidas</b>	41	1,30	3,10	0,90		Miner (1993, in Lestel et al., 1998)
<b>La Romanera</b>	34	0,42	2,30	1,18		Miner (1993, in Lestel et al., 1998)

Estes corpos mineralizados dispõem-se frequentemente em aglomerações (*clusters*) numa área relativamente reduzida, de poucos quilómetros quadrados, geralmente com 2 a 6 massas individualizáveis (*e.g.* Neves Corvo, Aljustrel, Tharsis, Rio Tinto) (Tornos, 2008). É possível encontrar por vezes corpos lenticulares de grandes dimensões, isolados, que por si só constituem o depósito em questão (*e.g.* La Zarza, Agua Teñidas). Apesar de ter em consideração esta morfologia primária, importa realçar a influência dos processos tectónicos na evolução geométrica e estrutural destes corpos, podendo haver desmembramentos e respetiva segmentação dos mesmos em corpos mais reduzidos (*e.g.*, Relvas, 1991; Tornos, 2006), nos quais a reconstituição da estrutura original se torna muitas vezes problemática.

Os depósitos da FPI encontram-se encaixados por rochas de composição diversa, nomeadamente rochas vulcânicas félsicas, como já referido anteriormente, e/ou por xistos que incorporam proporções variáveis de matéria orgânica, frequentemente apelidados com algum exagero como xistos negros. No caso das mineralizações associadas a vulcanitos félsicos, destacam-se os exemplos de Aljustrel, bem como a generalidade dos depósitos do designado sector norte (*e.g.*, La Zarza, Rio Tinto, San Miguel, Concepción-San Platon, Lomero-Poyatos). Nestes, verifica-se o enriquecimento relativo em esfalerite, galena, calcopirite e tetraedrite, e algum ouro associado. Estes corpos sulfuretados constituem importantes mineralizações em Zn-Pb e Cu, exibindo uma zonação bem definida que, caso a caso, pode ser variável (Tornos, 2006; 2008). Nos jazigos de Aljustrel, como exemplo, verifica-se o enriquecimento das lenticulas de minério em Cu, a muro, e em Zn-Pb, a teto da zona central, essencialmente pirítica.

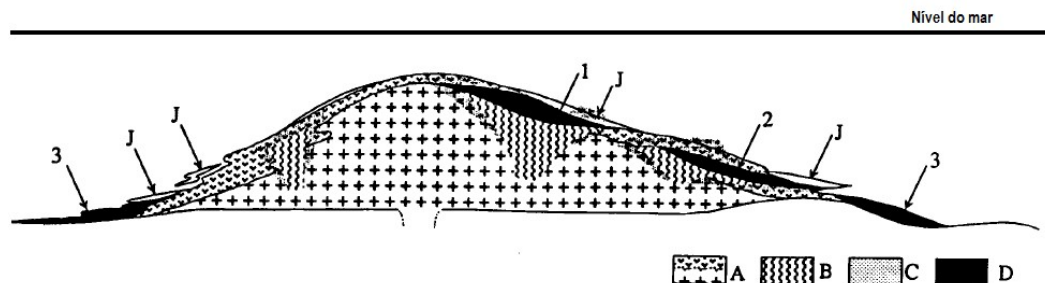
Existe, porém, no que respeita ao conjunto dos depósitos da FPI, algum predomínio de mineralizações hospedadas por xistos argilosos – com alguma fração carbonosa (Relvas, 2000) – especialmente no sector sul da Faixa (*e.g.* Sotiel-Migollas, Valverde, Las Cruces, Aznalcollar-Los Frailes; Tornos, 2006). Estes litótipos podem constituir extensos pacotes sedimentares ou englobar os sulfuretos em níveis mais finos, inseridos na sequência vulcânica (Tornos, 2006). Estas mineralizações apresentam grandes tonelagens e conteúdo em pirite elevado, no entanto os seus teores em metais básicos são relativamente baixos. Estes corpos apresentam frequentemente morfologias estratóides, com relações comprimento/espessura entre 10 e 25. No caso do Lousal, por exemplo, poderá chegar aos 100 (Tornos, 2008).



No que diz respeito à relação estratigráfica e espacial entre o minério e as litologias que o hospedam, a classificação preconizada por Carvalho (1979) (Fig. 2.5) considera uma subdivisão dos jazigos em: enraizados ou proximais (autóctones), transicionais, e deslocados ou distais (alóctones). Esta subdivisão diferencia as massas de sulfuretos que, na primeira situação, assentam e contactam na base com a fonte de alimentação do sistema hidrotermal, materializada pelo *stockwork* (e.g. Feitais, Estação). No caso de jazigos distais, verificam-se deslocamentos sin-sedimentares dos sulfuretos, com redeposição em zonas mais afastadas do respetivo aparelho vulcânico, onde predominam sedimentos. Este processo poderá ter sido provocado por escorregamento de “lamas piríticas” (Barriga, 1983; Relvas, 1991) provavelmente potenciado pela instabilidade tectónica resultante de atividade vulcânica explosiva (Carvalho, 1979; Barriga, 1983; Relvas, 1991).

Além das importantes mineralizações de cobre, zinco e chumbo, a FPI é reconhecida por conter mineralizações de manganês (Mn), na forma de rodonite, rodocrosite e um número significativo de diferentes óxidos de manganês, distribuídas por centenas de pequenos depósitos, na sua maioria de baixa tonelagem, que constituíram objeto de inúmeras explorações mineiras ao longo dos anos, com dimensões normalmente reduzidas (Carvalho, 1979; Barriga, 1990; Relvas, 1991; Barriga *et al.* 1997; Jorge, 2000).

Estes depósitos encontram-se frequentemente na dependência de massas de sulfuretos maciços e inseridos estratigraficamente nos níveis superiores (e por vezes inferiores) do CVS. Ainda assim, não são considerados níveis-guia definitivos para a prospeção na FPI pois estão associados quer a episódios vulcânicos produtivos, quer não produtivos (Barriga, 1990) do ponto de vista da geração de sulfuretos maciços. As mineralizações de manganês ocorrem sob forma de bolsadas ou em corpos lenticulares ou estratiformes e são hospedadas em litologias diversas como sedimentos pelíticos (xistos) ou jaspes (Barriga, 1990; Jorge, 2000).



**Figura 2.5** – Representação da tipologia de depósitos de sulfuretos maciços da FPI (modificado a partir de Carvalho, 1999). A – Rochas vulcânicas félsicas; B – Forte alteração clorítica e stockwork cuprífero; C – Forte alteração sericitica; D – Sulfuretos maciços polimetálicos; 1 – Massa do tipo autóctone; 2 – Massa do tipo transicional; 3 – Massa do tipo alóctone; J – Jaspe.

### 2.2.3. Metalogénese e Alteração Hidrotermal

Precedendo o metamorfismo regional, exposto anteriormente, dois importantes processos de alteração hidrotermal, a diferentes escalas, induziram nas rochas vulcânicas da FPI importantes modificações de natureza geoquímica, mineralógica e isotópica definidoras da evolução geológica e metalogenética da região. Estes eventos foram determinantes na génese dos depósitos de sulfuretos maciços, com importantes implicações na prospeção mineral na FPI.

A alteração regional (Munhá e Kerrich, 1980; Barriga, 1983; Relvas, 1991) afetou quase todas as rochas ígneas da FPI, vulcânicas a sub-vulcânicas, nomeadamente os termos máficos e félsicos. As rochas de composição espilitica (Munhá e Kerrich, 1980) e quartzo-queratofiricas ou quartzo-cali-queratofiricas analisadas, são hoje consideradas como resultantes da alteração de rochas basálticas de composição toleítica a alcalina, e de riólitos (Barriga, 1983; 1990), respetivamente.

O episódio regional pré-mineralização de alteração hidrotermal foi induzido por regimes de circulação convectiva de água do mar não ou pouco modificada através das rochas vulcânicas muito permeáveis, na sua maioria vulcanoclásticas, imediatamente após a sua deposição (Barriga, 1983; Relvas, 1991). Esta circulação, definida por células abertas e de orientação aleatória, foi sustentada por gradientes geotérmicos associados ao vulcanismo oceânico, mas seria também potenciada, ao longo do tempo, pela presença de corpos intrusivos (Relvas, 1991; Fernandes, 2011), em profundidade, instalados nos metassedimentos do GFQ. A percolação em profundidade permitiu um conjunto de modificações físico-químicas (composição, temperatura, pH e Eh) da água do mar, bem como alterações metassomáticas das rochas atravessadas, expressas nas associações de minerais secundários, relações texturais e composições geoquímicas específicas.

A água do mar, ao longo do seu percurso de influxo, evoluiu de um fluido tipicamente frio e oxidante, para condições progressivamente mais quentes e redutoras, ligeiramente mais ácidas, evidenciando um empobrecimento relativo no seu teor em magnésio, que pode ser incorporado na estrutura de minerais como a esmectite e a clorite, a temperaturas entre 150° e 200°C e superiores a 200°C, respetivamente (Tivey, 2007). Em sentido contrário, como resultado do aumento da capacidade de lixiviação de metais, decorrente da sua maior salinidade e temperatura ao longo do seu percurso, verifica-se um enriquecimento do fluido em elementos fundamentais para os processos metalogenéticos, sob condições de razão água/rocha progressivamente mais baixas.

Este mecanismo de alteração hidrotermal, perversivo e de escala regional, induz (*e.g.* Aljustrel) uma zonalidade vertical de alteração (Barriga, 1983; Barriga e Fyfe, 1988) nas rochas do CVS, subparalela à estratificação, na qual se diferenciam duas zonas principais. Uma zona de alteração superficial (~50 m) designada por Fácies Verdes (Barriga, 1983), apresenta evidências de processos de oxidação, hidratação e enriquecimento relativo em Mg (Carvalho *et al.*, 1999), como exemplificado anteriormente. Uma segunda zona, mais profunda e designada por Fácies Felsítica e Granular (Barriga, 1983) exibe uma alteração redutora com forte lixiviação e empobrecimento de elementos de transição como o Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Co e em sílica (Relvas, 1991; Carvalho *et al.*, 1999). À Fácies Verde associa-se, pois, forte cloritização magnesiana, ao passo que em profundidade, na Fácies Felsítica e Granular, a alteração é mais subtil e caracteriza-se sobretudo por hidrólise incompleta dos feldspatos ígneos e sua ligeira sericitização.

A alteração hidrotermal mineralizante resulta da interação entre os fluidos aquecidos e modificados em profundidade, redutores e portadores de metais dissolvidos, com as litologias encaixantes e a água do mar não modificada, no seu percurso ascensional de refluxo. Derivadas deste tipo de mecanismo, estão, por exemplo, as mineralizações por substituição de rochas vulcânicas félsicas, sub-superficiais, em Aljustrel (sector norte). Esta alteração mineralizante corresponde a uma segunda etapa no processo de circulação dos fluidos, na qual se observa uma intensificação da circulação hidrotermal através de células convectivas mais amplas e profundas, mais estáveis no tempo e focalizadas no espaço, com consequências para a intensidade crescente dos processos metassomáticos. Decisiva neste processo terá sido a atividade tectónica sin-vulcânica como importante fator para a focalização de canais de descarga dos fluidos metalíferos (Oliveira *et al.* 2013). Assinala-se aqui que a intensificação dos processos metalogenéticos decorrentes da atividade hidrotermal mineralizante se deu nas fases finais do vulcanismo explosivo, durante o Estruniano (Pereira *et al.*, 2007). Esta idade constitui um nível extremamente produtivo na FPI e é marcado estratigraficamente por sedimentos finos ricos em matéria orgânica (xistos escuros).

É importante referir que a principal fonte de metais e de algum enxofre associados às mineralizações da Faixa, é atribuída às rochas siliciclásticas do GFQ (Tornos, 2006; 2008). Esta hipótese é sugerida pela reduzida espessura relativa das unidades do CVS, considerada insuficiente para garantir a enorme quantidade de metais presentes nos depósitos da FPI. Assim, os fluidos hidrotermais na sua circulação profunda, percolaram e equilibraram quimicamente com os fluidos intersticiais do GFQ,



enriquecidos em metais dissolvidos, havendo uma ascensão significativa dos mesmos, potenciada pelos referidos regimes térmicos elevados. Importa também perceber que o GFQ não constitui a principal fonte do enxofre que é fundamental nos processos de precipitação de sulfuretos. O enxofre (reduzido) provém dos litótipos vulcanoclásticos altamente permeáveis e reativos ou, em alternativa, da redução termoquímica do sulfato marinho (Tornos, 2006).

O processo de alteração hidrotermal mineralizante, origina um conjunto de paragénese mineralógicas secundárias que definem halos de alteração característicos neste tipo de depósitos. A zonalidade de alteração definida por estes halos, apresenta frequentemente um padrão grosseiramente concêntrico (*e.g.* Barriga, 1983; Barriga, 1990; Relvas, 1991), centrado no eixo do sistema mineralizante que, em profundidade, corresponde à zona de *stockwork*. Esta zona fortemente metassomatizada e subjacente ao corpo mineralizado quando enraizado, materializa o trajeto ascensional focalizado do fluido ao longo do tempo e evidencia uma alteração que é fortemente condicionada por canais de descarga.

Tendo em conta as paragénese de alteração dominantes definem-se três zonas correspondentes a três tipos de alteração distintos. A zona nuclear do sistema, fortemente cloritizada e sulfuretizada, por vezes com substituição total do protólito, caracteriza-se por uma alteração do Tipo 1 caracterizada pela paragénese clorite + quartzo + sulfuretos +/- carbonatos. Periféricamente a este halo ou zona central do sistema mineralizante, observam-se duas outras de alteração predominantemente sericítica, denominadas por alterações do Tipo 2 e do Tipo 3 (Relvas, 1991). A alteração do Tipo 2 exibe uma paragénese constituída por sericite + quartzo + sulfuretos +/- carbonatos, e é caracterizada pela substituição completa dos feldspatos ígneos das rochas vulcânicas por sericite potássica. Nesta zona, a alteração é dominada por veios que cortam e frequentemente obliteram a alteração regional. Um halo ultraperiférico ao sistema e a rodear a zona anterior, caracteriza-se por uma alteração menos pronunciada, na qual se destaca a presença de sericite sódica (interestratificados sericite-paragonite e, mais raramente, paragonite discreta), na qual se distinguem frequentemente relíquias de feldspato reveladores do estágio incipiente e distal da alteração numa transição para rochas não afetadas pelos processos hidrotermais associados à mineralização.

## **2.3. Couto mineiro de Aljustrel**

### **2.3.1. Introdução**

Os depósitos de sulfuretos maciços de Aljustrel estão entre os mais importantes e mais bem estudados da FPI (Relvas, 1991). Constituíram, como outros, referências na exploração de metais ao longo de milhares de anos nesta província, bem como um dos fatores de impulso do sector extrativo em Portugal e Espanha. As minas de Aljustrel apresentam-se ainda hoje como um importante fator de dinamização e desenvolvimento da economia local e nacional.

Os registos mais antigos de exploração das minas de Aljustrel datam da época dos Fenícios e Cartagineses. No entanto, foi o Império Romano que deu início a uma extração mais intensiva de metais preciosos e cobre a partir de enriquecimentos supergénicos (gossans) e mineralizações subjacentes associadas, nomeadamente em Algaes e S. João.

A mineração moderna ocupou a zona de Aljustrel nas últimas duas centenas de anos e foi durante este período que várias empresas e/ou particulares exploraram os recursos minerais nesta região. Em meados do século XIX, em plena Revolução Industrial, a concessão de exploração das minas de Aljustrel passa pelas mãos de um particular espanhol, Sebastião Gargamala, transitando pouco tempo depois para a *Lusitanian Mining Company* que labora ali durante 2 anos. A concessão passa então para a Companhia de Mineração Transtagana durante os 15 anos seguintes, terminando após insolvência daquela empresa por contingências de mercado.

Já no século XX, os trabalhos de prospeção geofísica (fundamentalmente gravimetria) levados a cabo pelo Serviço de Fomento Mineiro (SFM), levaram à descoberta das massas do Moinho (1956), de Feitais (1964), de Estação (1967) e de Gavião (1970). Até 1973, a exploração mineira dos jazigos de Aljustrel é efetuada pela *Société Anonyme Belge de Mines d'Aljustrel* e, em julho desse mesmo ano, passa para a empresa Pirites Alentejanas S.A.R.L., detida pelo governo português (93%) e por interesses belgas (7%) (Barriga, 1983). Durante este longo período, de meados do século XIX a finais do séc. XX, as massas de Algarès, São João e Moinho são essencialmente exploradas para obtenção de enxofre.

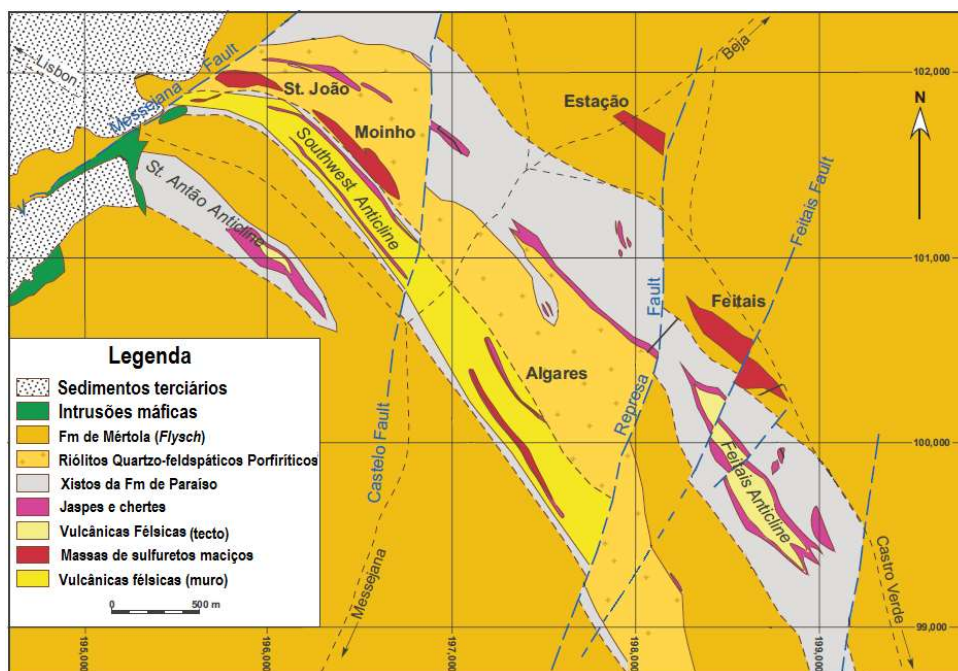
No início da década de 1990, e após investimento estatal, a modernização do complexo mineiro permitiu a exploração da massa do Moinho e a produção de diversos concentrados, apesar da cessação da atividade em 1993 devido a dificuldades técnicas e económicas (Dawson e Caessa, 2004). Em 2001, a mina foi adquirida pela *Eurozinc Mining Corporation* (Canadá), a qual avançou com um programa de prospeção e estudos de viabilidade económica para exploração de metais básicos, com o objetivo de produção de concentrados de zinco, chumbo e cobre dos jazigos de Moinhos e Feitais, durante os anos subsequentes (Dawson e Caessa, 2004). Mais recentemente, em 2009, as minas de Aljustrel são vendidas a um grupo português que é detentor daquela que é hoje a responsável pela exploração mineira nesta região, a ALMINA – Minas do Alentejo S.A.

### 2.3.2. Geologia Estrutural e Litoestratigrafia

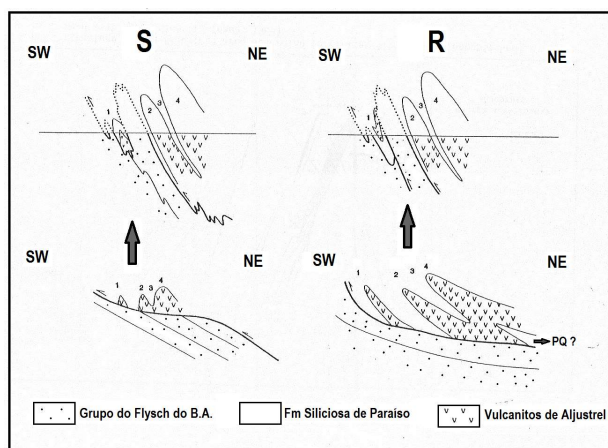
A geologia de Aljustrel reflete algumas das mais importantes características tectono-estruturais, litoestratigráficas e metalogenéticas descritas anteriormente para a generalidade da FPI. O conhecimento adquirido ao longo dos anos, foi aqui obtido através de dados de cartografia geológica de superfície, das várias sondagens realizadas nas últimas décadas e por dados complementares decorrentes da atividade mineira em profundidade (Relvas, 1991).

A estrutura anticlinal de Aljustrel estende-se por uma faixa de 1.5 km de largura por 5 km de comprimento, segue uma orientação geral NW-SE, e subdivide-se em cinco estruturas principais, de NE para SW: Anticlinal de Feitais, Anticlinal Central, Sinclinal de S. João, Anticlinal SW e Anticlinal de St. Antão (Fig. 2.6). Esta estrutura é constituída por apertados dobramentos isoclinais, por vezes tombados, vergentes para SW e de plano axial predominantemente mergulhante para NE. É no núcleo deste anticlinório que se encontram as rochas do CVS que hospedam os sulfuretos maciços polimetálicos do campo mineiro de Aljustrel. Nesta região, o CVS aflorante, localmente designado por Grupo de Aljustrel (GA), contacta a NE, SE e SW com os níveis turbidíticos da Formação de Mértola (GFBA), e é limitado no extremo NW pela falha da Messejana. Neste sector, o GA contacta diretamente com sedimentos terciários da Bacia do Sado.

À exceção do contacto entre o Grupo de Aljustrel e a Formação de Mértola no flanco NE da estrutura, que se apresenta em conformidade estratigráfica, os restantes contactos são tectónicos, caracterizados por planos de movimentação de baixo ângulo (Barriga, 1983). A complexidade estrutural das rochas do GA é atribuída a duas etapas principais de deformação. Destaca-se neste sentido, o importante acidente tectónico conhecido por Carreamento de Aljustrel que condiciona a evolução estrutural da região. Este acidente, decorrente de movimentos cavalgantes sinsedimentares (Ribeiro *et al.*, 1979; Ribeiro, 1981 *in* Barriga, 1983), foi responsável pela truncatura dos anticlinais e sinclinais de Aljustrel, carreando-os sobre o GFBA a SW, numa fase inicial de deformação na qual se geraram dobras amplas. Uma segunda fase de deformação compressiva, tida como principal e aproximadamente coaxial da anterior, teria sido responsável pelo aperto das dobras já formadas, desenvolvimento de clivagem, e pelo dobramento do plano de carreamento (Schermerhorn e Stanton, 1969, *in* Barriga, 1983), ou teria provocado a geração de planos de cavalgamento por laminação dos flancos inversos daqueles (Ribeiro *et al.*, 1982 *in* Barriga, 1983; Relvas, 1991). Estas duas situações são evidenciadas nos modelos alternativos de interpretação estrutural da região, apresentados na figura 2.7.



**Figura 2.6** – Mapa geológico e estrutural simplificado de Aljustrel, com a localização dos depósitos de S. João, Moinho, Algarves, Feitais e Estação. O jazigo de Gavião não se encontra representado na figura (modificado a partir de Barret et al., 2008)

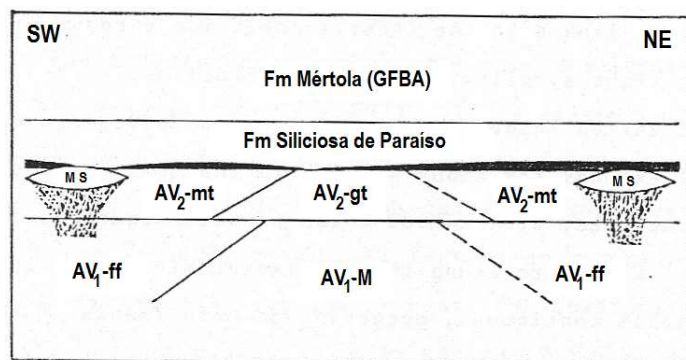


**Figura 2.7** – Modelos de interpretação estrutural da região de Aljustrel, de acordo com (S) Schmerhorn e Stanton, 1969 e (R) Ribeiro et al., 1982 (modificado a partir de Barriga, 1983)

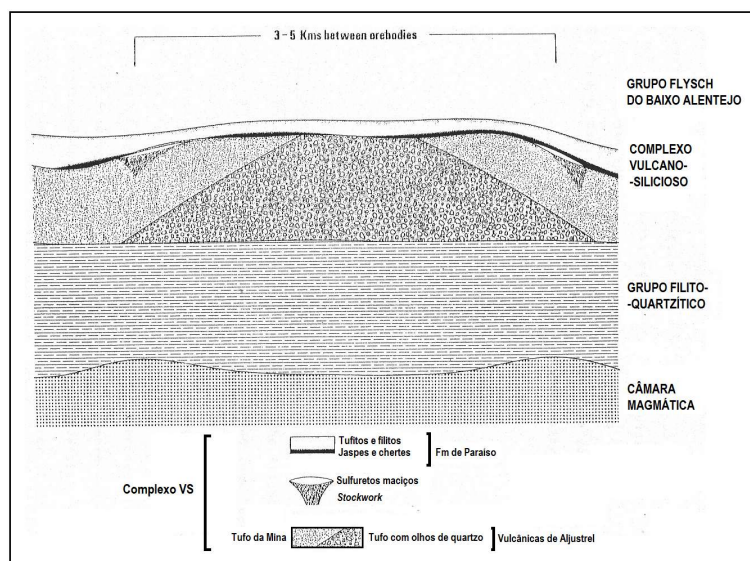
No que respeita à tectónica de fratura (numa abordagem complementar ao referido na secção 2.1), toda a estrutura de Aljustrel é afetada por um conjunto de falhas de desligamento com orientação diversa que induziram rejeitos variáveis naquelas formações. As falhas de orientação N-S a NNE-SSW, de desligamento direito, e que de um modo geral cortam toda a estrutura do Grupo de Aljustrel são responsáveis por rejeitos significativos. Algumas das mais importantes falhas aqui cartografadas pertencem a esta família, na qual se incluem, de NW para SE, os desligamentos do Castelo, da Represa, de Feitais, do Esteval e do Paraíso. Estas falhas são subverticais ou inclinam para SE, podendo exibir movimentações verticais, com abatimento dos blocos SE (Relvas, 1991). As falhas orientadas segundo WSW-ENE e NE-SW, têm movimentação sinistrógi e podem ter, no caso das segundas, importante impacto tectono-estrutural nas formações por elas cortadas. Neste caso concreto, a falha da Messejana origina um significativo arrastamento das estruturas geológicas no sentido da mesma, com variações de orientação geral das estruturas e direções de planos axiais, de NW-SE até W-S aproximadamente, como

A sequência litostratigráfica de Aljustrel foi descrita e interpretada por diversos autores ao longo das últimas décadas (*e.g.* Schermerhorn e Stanton, 1969; Andrade e Schermerhorn, 1971; Barriga, 1983) que propuseram classificações distintas para as mesmas unidades. Assim, da base para o topo da sequência, surgem as rochas do Grupo de Aljustrel com espessura superior a 250m (base desconhecida), não havendo até hoje qualquer intersecção do GFQ subjacente. No entanto, as unidades filito-quartzíticas afloram na zona da estrutura de Corte Vicente Anes, 3 km a NE, sob as unidades equivalentes laterais ao GA (Barriga, 1983). As unidades vulcano-sedimentares do GA subdividem-se nos “Vulcanitos de Aljustrel” (AV) que correspondem a termos maioritariamente vulcanoclásticos, como tufos de textura variada mas composição tipicamente félsica (riolítica a riodacítica), aos quais se sobrepõe estratigraficamente a Formação do Paraíso (Barriga, 1983; Relvas, 1991), com cerca de 50m de espessura, constituída por litótipos variados na sua composição e proveniência, como xistos negros a esverdeados siliciosos (Matos, 2010), xistos “borra de vinho”, bem como algumas intercalações de níveis vulcanoclásticos finos. A base da Formação do Paraíso é definida por um nível de jaspes, chertes ou sedimentos siliciosos metalíferos (Mn) que, em Aljustrel, pode atingir 15 m de espessura, apresentando, no entanto, níveis menos espessos, em geral.

Mais tarde, o reconhecimento feito por Barriga (1983) de que a zonalidade vertical que caracteriza estes litótipos, não sendo original e primária, resulta da alteração regional (*e.g.* Relvas, 1991; Leitão, 1992; Matos, 2010), levou este autor a uma simplificação da classificação da sequência anterior, tendo definindo apenas uma unidade central, a Formação do Tufo com Olhos de Quartzito (equivalente aos Tufos com Megacrístais e Tufos Verdes), e uma outra de transição lateral, a Formação do Tufo da Mina (equivalente aos Tufos da Mina e Tufos Felsíticos).



15



**Figura 2.9** – Representação esquemática simplificada das relações espaciais (anteriores à deformação) entre as várias formações de Aljustrel (modificada a partir de Barriga, 1983)

Uma espessa sequência de sedimentos de derivação turbidítica do GFBA (Formação de Mértola), assenta concordantemente sobre as rochas do grupo de Aljustrel exibindo alternâncias muito regulares de termos mais finos (xistos cinzentos a negros) e siltitos a conglomerados, de composição muito diversa (grauvaques).

Nos últimos anos, foi proposta uma classificação alternativa (e.g. Dawson e Caessa, 2003) a partir de trabalhos realizados pela empresa *Eurozinc Mining Corporation*. Da base para o topo da sequência foi estabelecida uma Unidade Vulcânica Inferior que constitui a base do CVS em Aljustrel e que, em parte, equivale aos Tufos Felsíticos e Tufo da Mina dos autores referidos anteriormente. Esta unidade foi subdividida em três níveis, cada um representado por um tipo de riólito distinto (da base para o topo da unidade têm-se: Riólito X, Riólito A e Riólito B). Esta distinção foi estabelecida assumindo a sua origem decorrente da diferenciação magmática a partir de três câmaras magmáticas diferentes. Segue-se a “Unidade de Sulfuretos Maciços”, no topo da unidade Vulcânica Inferior, com uma espessura máxima de 100m com as zonalidades metalíferas já antes identificadas. Sobre as unidades anteriores foi estabelecida a Unidade Vulcânica Superior, equivalente aos Tufos Verdes de Andrade e Schermerhorn (1971), com cerca de 50m de espessura, na qual foi caracterizado outro vulcanito félsico, o Riólito C. A unidade dos Tufos com Megacristais ou Tufo com Olhos de Quartzo, é por estes autores designada de Unidade de Riólitos Quartzito-Feldpáticos Porfíricos e considerada como um corpo intrusivo que corta várias das unidades anteriores surgindo intercalada em diversos níveis estratigráficos (Dawson e Caessa, 2003), como na transição entre o topo das rochas vulcânicas e a Formação do Paraíso, aqui designada por Unidade Sedimentar Inferior. O GFBA encerra a sequência a topo como a Unidade Sedimentar Superior.

#### **2.4. Jazigos de Feitais e Estação**

A região de Aljustrel hospeda 6 depósitos de sulfuretos maciços polimetálicos exalativos, que se distribuem em dois alinhamentos estruturais. No flanco NE, localizam-se as massas de Feitais e Estação (Anticlinal de Feitais), e a SW as massas do Gavião (rejeitada para SW pela falha da Messejana), São João, Moinho e Algarés (Anticlinal SW). Estas massas, à exceção de S. João, orientam-se segundo NW-SE, alinhadas com as principais estruturas dobradas de Aljustrel e inclinam com um pendor sub-vertical ou muito acentuado para NE (Relvas, 1991). No caso de S. João, o minério (orientado segundo

W-E) acompanha o arrastamento estrutural gerado pelo desligamento esquerdo da falha da Messejana, que foi consequentemente responsável pelo rejeito entre as massas de S. João e do Gavião, que seriam uma só.

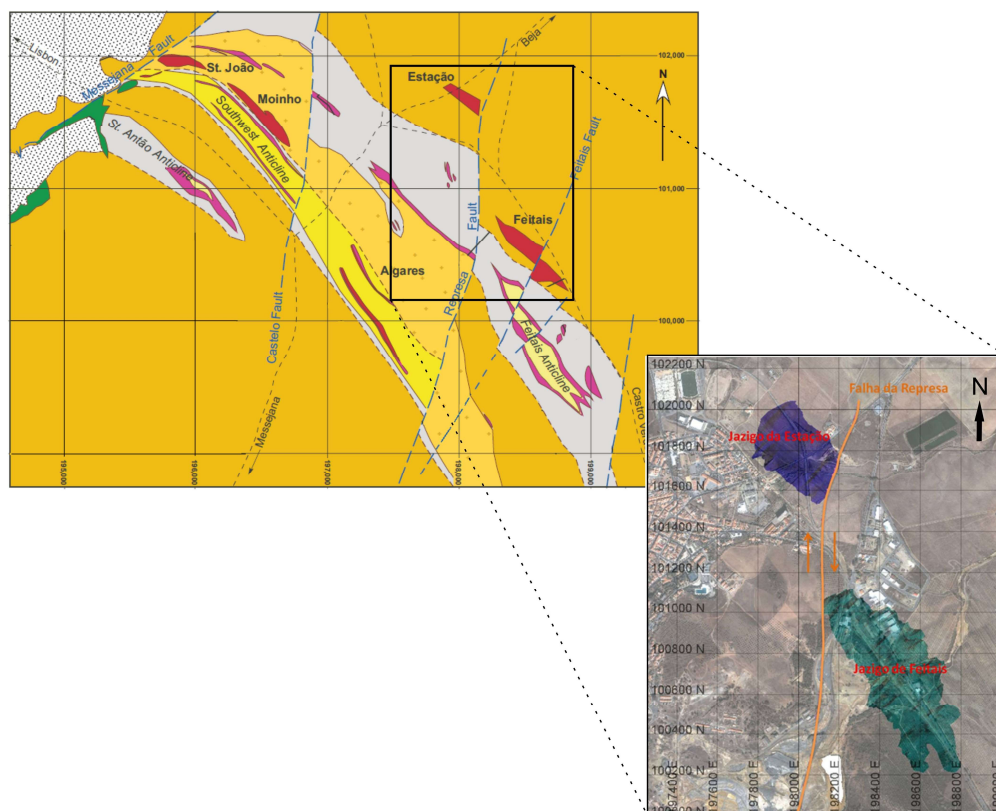
A posição estratigráfica dos depósitos de Aljustrel é bem definida, ocorrendo sempre no topo ou muito próximo do topo da Formação do Tufo da Mina, junto ao contacto com os níveis superiores da Formação do Paraíso que servem de referência nesta região.

O minério em Aljustrel apresenta uma composição predominantemente pirítica (> 70%) com outras fases acessórias mais comuns como a esfalerite, a galena, a calcopitite e a tetraedrite, e alguma arsenopirite presente. Apresenta igualmente uma zonação metalogenética típica: os teores mais significativos em Zn e Pb distribuem-se pelo topo e periferias do minério maciço enquanto as zonas mais cupríferas se encontram na sua base (com prolongamento de teores pelo *stockwork*), numa transição que percorre uma zona de baixos teores, pirítica, nos domínios mais centrais da estrutura mineralizada. Segundo Inverno *et al.* (2008), os recursos associados aos depósitos de Aljustrel totalizam 190 Mt de minério polimetálico com os seguintes teores: 45 a 47% S, 38 a 41% Fe, 3.4% Zn, 1.2% Pb, 0.8% Cu, 36 g/t Ag e 1 g/t Au. Dados relativos à estimativa de recursos das massas de Feitais, Moinho e Estação, foram publicados pela *Wardell Armstrong Internacional* em 2007 e encontram-se resumidos na Tabela 2.2.

A massa de Feitais tem sido um objeto de estudo preferencial em Aljustrel (*e.g.* Barriga, 1983; Barriga e Fyfe, 1988; Gaspar, 1995; Dawson *et al.* 2001; Barret *et al.* 2008; Inverno *et al.* 2008) face ao enquadramento geo-estrutural menos complexo, e ao menor tectonismo imposto às estruturas que a hospedam (Barriga, 1983; Relvas, 1991). Ainda assim, esta massa de sulfuretos maciços com cerca de 1000 m de comprimento, 500 m de largura e até 100 m de espessura, encontra-se afetada transversalmente pela falha de Feitais (subparalela à falha da Represa) através de um desligamento direito. A massa de Feitais é sobreposta estratigraficamente por tufos riolíticos feldspatofíricos alterados (clorite, sericite e pirite), por sua vez “capeados” pelos níveis siliciosos de Fe e Mn (jaspes e chertes ricos em Mn) que se encontram recortados por veios de quartzo e carbonatos, com alguma barite associada. A muro, o minério assenta numa espessa sequência (> 150 m) de tufos félsicos cloritizados e sericitizados, com uma gradual silicificação em profundidade. Localmente, na zona de *stockwork*, as rochas vulcanoclásticas félsicas exibem a zonalidade de alteração já evidenciada, com forte alteração clorítica (Tipo 1) e sericitica (Tipos 2 e 3) distal, e uma mineralização predominantemente cuprífera (calcopirite) associada a veios de quartzo e alguns carbonatos. Esta alteração mineralizante permite apenas a visualização de pequenas “janelas-reliquia” da alteração regional precoce.

O minério maciço de Feitais contempla uma paragénese sulfuretada muito variada (pirite, calcopirite, esfalerite, galena, tenantite-tetraedrite, e arsenopirite como fases principais). Na zona superior da lenticula, enriquecida em Zn e Pb, o minério ocorre num bandado de grão fino, enquanto que na base com predomínio de Cu (+/- Bi-Sb), o mesmo ocorre sob forma de um bandado de grão médio a grosseiro (Inverno *et al.*, 2008).





**Figura 2.10** – Localização das massas de Feitais e Estação em Aljustrel, com projeção simplificada sobre ortofotomapa do sector NE da vila. A projeção foi suportada pelo software 3D Vulcan 9.1 (Maptek)

O jazigo de Estação, sobre o qual incide o presente trabalho, localiza-se no extremo NE da vila de Aljustrel e ocorre no flanco normal do anticlinal de Feital, como referido anteriormente. O corpo de minério maciço apresenta uma morfologia lenticular com cerca de 600 m de comprimento, 480 m de largura e 80-100 m de possança, inclina cerca de 60° para NE, e o seu eixo de maior alongamento mergulha 20-30° para NW, numa atitude geral semelhante a Feitais. Encontra-se rejeitado relativamente àquela massa em cerca de 600 m pelo desligamento direito da falha da Represa. Numa fase anterior à deformação frágil tardia, estes dois corpos de sulfuretos maciços terão constituído uma única massa mineralizada, com cerca de 1700 m de comprimento, por 500 m de largura e cerca de 80 m de espessura (e.g. Barriga, 1983; Relvas, 1991).

Este jazigo, pouco estudado e não explorado até aos dias de hoje, é, do ponto de vista dos metais básicos nele contidos, essencialmente zincífero. Os respetivos teores e tonelagens são expressos na tabela 2.2, considerando um teor de corte de 4% Zn. A observação e descrição das 3 sondagens que sustentam grande parte deste estudo (etapa de *re-logging*; Anexo I), colocaram em evidência um conjunto de características mineralógicas e texturais, que serão objeto de análise detalhada nos próximos capítulos, onde serão apresentados os resultados e interpretações decorrentes do seu estudo petrográfico, mineralógico e geoquímico.

**Tabela 2.2** – Estimativas de recursos de zinco e cobre no depósito de Aljustrel (Wardell Armstrong Internacional, 2007)

<b>Zinco</b>					
<b>Feitais</b> ( T. corte: 4.5 % Zn)	<b>Tonelagem</b>	<b>Zn (%)</b>	<b>Cu (%)</b>	<b>Pb (%)</b>	<b>Ag (g/t)</b>
Medido	740.000	5.32	0.18	1.62	52.20
Indicado	14.480.000	6.03	0.21	1.86	68.20
Inferido	3.160.000	6.14	0.16	1.66	60.00
<b>Moinho</b> ( T. corte: 4 % Zn)					
Medido	1.842.000	5.10	0.39	1.86	52.20
Indicado	1.133.000	5.05	0.40	1.92	50.80
Inferido	1.364.000	5.16	0.55	1.93	54.20
<b>Estação</b> ( T. corte: 4 % Zn)					
Medido	-	-	-	-	-
Indicado	5.384.000	5.05	0.22	1.57	47.10
Inferido	4.797.000	4.79	0.24	1.47	44.50
<b>TOTAL</b>					
Medido	2.582.000	5.16	0.33	1.79	52.20
Indicado	20.997.000	5.73	0.22	1.79	61.85
Inferido	9.321.000	5.30	0.26	1.60	51.17

<b>Cobre</b>					
<b>Feitais</b> ( T. corte: 1.5 % Cu)	<b>Tonelagem</b>	<b>Zn (%)</b>	<b>Cu (%)</b>	<b>Pb (%)</b>	<b>Ag (g/t)</b>
Medido	-	-	-	-	-
Indicado	4,870,000	0.88	2.12	0.24	13.52
Inferido	1,870,000	0.70	2.13	0.18	10.43
<b>Moinho</b> ( T. corte: 1.5 % Cu)					
Medido	260,000	1.26	1.82	0.40	20.33
Indicado	1,790,000	1.61	1.96	0.65	26.74
Inferido	120,000	1.55	1.72	0.83	30.71
<b>TOTAL</b>					
Medido	260,000	1.26	1.82	0.40	20.30
Indicado	6,660,000	1.08	2.08	0.35	17.07
Inferido	1,990,000	0.75	2.11	0.22	11.65



### **3. Reconstituição geológico-estrutural da massa de Estação**

---

#### **3.1. Introdução**

Desde a sua descoberta em 1967, pelo Serviço de Fomento Mineiro, o jazigo de Estação tem sido objeto de variadas campanhas de prospeção, cujo objetivo primordial assentou no conhecimento do potencial em metais básicos do depósito. Destacam-se, no período de 1970 a 1971, os primeiros trabalhos de prospeção realizados pela extinta Sociedade Mineira de Santiago, sem resultados particularmente promissores. Mais recentemente, nos anos 1990 a 2000, as empresas concessionárias das áreas de prospeção na região de Aljustrel, intensificaram esforços na obtenção de dados sobre a massa de Estação, com o progressivo aumento durante estes anos, do número de sondagens realizadas. A *Lundin Mining Corporation* realizou, entre 1997 e 2002, um total de 14 sondagens de superfície (6.902 m), algumas registando teores de Zn considerados promissores. Até 2011 foram realizadas cerca de 25 sondagens carotadas num total de 12.395 m (e.g. *Lundin Mining Corporation*, 2007; Gonçalves, 2011 – dados não publicados). Entre 2012 e 2013, outras 3 sondagens foram realizadas pela Almina S.A., atual empresa concessionária, que constituíram o objeto de estudo para a realização do trabalho agora apresentado.

Além da aferição do potencial em metais básicos na massa de Estação, os testemunhos de sondagem permitiram aprofundar o conhecimento geológico-estrutural de toda a sequência encaixante e contribuir para melhor compreender a geologia de Aljustrel. Consequentemente, a descrição cuidada destes testemunhos foi igualmente importante no processo subsequente de caracterização do modelo metalogenético do jazigo de Estação.

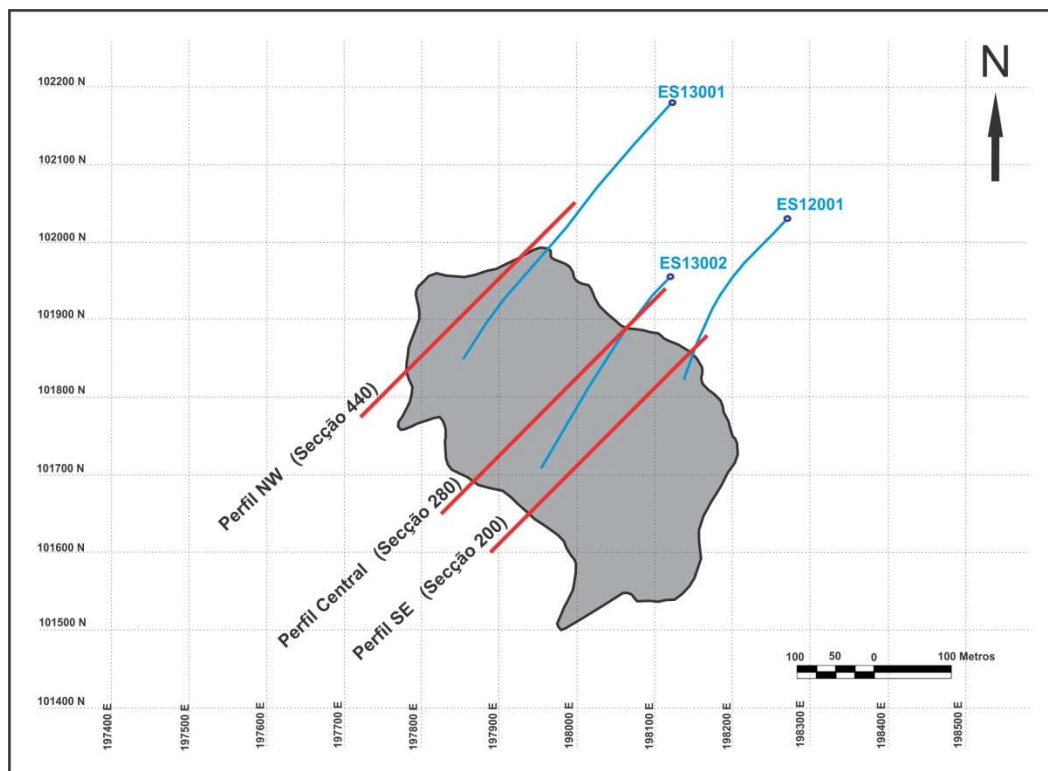
#### **3.2. Sondagens ES13001, ES13002 e ES12001**

O objetivo da etapa inicial deste estudo consistiu na análise, descrição e caracterização detalhadas dos testemunhos relativos às três mais recentes sondagens carotadas de superfície executadas no jazigo de Estação, nomeadamente a ES13001, a ES13002 e a ES12001, tendo sido realizadas na caroteca do complexo mineiro de Feitais. Esta etapa de *relogging* incluiu também uma reapreciação de toda a informação prévia obtida pela empresa Geoplano, aquando da execução das referidas sondagens. Esta etapa culminou com a elaboração dos respetivos *logs* de sondagem apresentados no Anexo I.

As bocas dos três furos de sondagem localizam-se geograficamente a NE do corpo mineralizado de Estação, tendo em consideração a projeção vertical dos limites do mesmo à superfície (Fig. 3.1). Tendo em conta o conhecimento geral das estruturas geológicas em Aljustrel, torna-se intuitivo compreender o processo de projeção das sondagens, no caso concreto do jazigo de Estação, não sendo por isso de estranhar a direção aproximada SW projetada para cada um dos furos. Estas sondagens seguem por isso uma direção semelhante entre si, subperpendicular ao eixo das dobras que afetam as diversas unidades atravessadas, evidenciando variações de inclinação que possibilitam ângulos de interseção das massas mineralizadas preferencialmente ortogonais, permitindo uma melhor compreensão da espessura das estruturas. Assim, a sondagem ES13001, mais a NW, foi realizada segundo um azimute de 231°, e com uma inclinação inicial de 72° que diminui progressivamente em profundidade até aos 54° a 938 metros. Trajetória muito similar é evidenciada pela sondagem ES13002, com inclinação inicial e final de furo de 72° e 56°, respetivamente, apresentando uma direção inicial com azimute de 225°. A NE desta última, a sondagem ES12001 foi realizada segundo azimute inicial de

226°, com uma inclinação inicial de 75°, cuja inflexão até final não foi tão pronunciada como as anteriores (68° a 898 metros).

As sondagens ES13001, ES13002 e ES12001 apresentam comprimentos totais de 953,50 m, 722,70 m e 898,20 m, respetivamente, com recuperações de testemunho que variaram entre os 96,79% (ES12001) e os 98,06% (ES13002).



**Figura 3.1** – Localização geográfica do jazigo de Estação (coordenadas Militares – Datum Lisboa), com projeção das sondagens estudadas (ES13001, ES13002 e ES12001) e dos perfis sobre os quais foram implantadas (NW, Central e SE). Segundo aquele sistema de coordenadas, temos: ES13001 (X – 198122.531; Y – 102179.514), ES13002 (X – 198120.762; Y – 101955.628), ES12001 (X – 198270.718; Y – 102028.715). Os perfis definidos como NW, Central e SE equivalem às secções 440, 280 e 200, respetivamente, de acordo com a numeração atribuída pela empresa Almina, S.A. e utilizada nos relatórios internos da empresa.

Os termos litológicos e os aspetos mineralógicos, texturais e estruturais (*e.g.* estratificação e xistosidade), bem como a intensidade relativa de fracturação dos tarolos, permitiram uma caracterização que se quis consistente, dos 2574 metros de testemunho analisados. Estas características foram essenciais na compreensão, por exemplo, de regimes de sedimentação marinha (*e.g.* sequências turbidíticas do GFBA), do tipo de fácies vulcânicas existentes no CVS de Aljustrel (predominantemente vulcanoclásticas) que encaixam o minério, bem como da sobreposição de processos de alteração hidrotermal mineralizante, locais, e tectono-estruturais, de larga escala (*e.g.*, metamorfismo regional). Esta análise possibilitou desta forma o estabelecimento de limites bem definidos entre unidades, tendo sido consequentemente possível sinalizar de forma clara as intersecções das várias sondagens com a massa mineralizada.

Será apresentada de seguida, do topo para a base, uma breve descrição macroscópica dos principais litótipos que constituem as unidades definidas e discriminadas no jazigo de Estação. Ao longo das sondagens estudadas foi possível intersectar litologias pertencentes a duas das unidades principais definidas na Faixa Piritosa Ibérica: o Grupo do Flysch do Baixo Alentejo (GFBA) e o Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS). Corroborando as descrições até hoje efetuadas por outros autores na região de Aljustrel, as rochas do Grupo Filito-Quartzítico (GFQ) não foram intersectadas pelas sondagens

referidas. Face aos objetivos deste trabalho, as rochas do GFBA, ainda que descritas nos seus aspetos geológicos mais relevantes em amostra de mão, não foram objeto de amostragem e análise subsequente.

### 3.2.1. Grupo do Flysch do Baixo Alentejo

Espessa sucessão de sedimentos turbidíticos pertencentes à Formação de Mértola (Oliveira *et al.* 2013), com alternância de termos mais grosseiros e dominantes – grauvaques – e outros de granularidade mais fina – xistos – predominantemente argilosos. Esta alternância subdivide-se em espessos pacotes grauvacóides cinzentos, de várias tonalidades (pontualmente bege-acastanhados), que podem atingir 100-200 m de espessura, nos quais se intercalam argilitos (xistos) de cor cinza a negra, com espessuras centimétricas e decimétricas mais frequentes. No entanto, é possível verificar uma alternância contrária em variados troços de sondagem, com predomínio de xistos argilosos, com várias dezenas de metros de espessura, entre os quais se observam pequenas bancadas centimétricas de grauvaques e siltitos que podem formar com os níveis finos de argilitos, sequências de forte ritmicidade.

Os grauvaques apresentam uma considerável variedade dimensional, desde frações mais finas, argilíticas e siltíticas, passando por clastos mais abundantes da dimensão das areias (~2 mm) e englobando outros de classes dimensionais superiores. Entre estes, são particularmente visíveis e frequentes os intraclastos negros, argilosos, que ocorrem quase invariavelmente alongados, numa forma lenticular, evidenciando a uma pequena escala os processos decorrentes da deformação regional. Neste sentido, a maior acomodação da deformação por parte dos argilitos traduz-se em clivagens xistentas, mais penetrativas que, à semelhança do que foi possível determinar igualmente em bancadas grauvacóides, através de medições sistemáticas, apresentam uma inclinação média de 50°, equivalente à medição de 40° relativa ao eixo do tarolo ( $x^\circ \wedge CA$ ). O pendor médio da estratificação, por seu lado, apresenta-se com valores a rondar os 40° (50°  $\wedge CA$ ). Tendo em conta a inclinação dos furos de sondagem, é de supor que o pendor real da estratificação e da xistosidade de todas as unidades atravessadas seja superior.

Estas litologias encontram-se frequentemente recortadas por veios de quartzo, milimétricos a decimétricos, podendo (raramente) atingir mais de 1 metro de possança. Apesar de poderem ocorrer segundos diversas orientações, em função das famílias de fraturas existentes, verifica-se um predomínio destas estruturas tardias em planos subconcordantes à xistosidade. Além de poderem surgir associados a estes veios de quartzo, os carbonatos (calcite) encontram-se muitas vezes na matriz dos grauvaques, constituindo assim parte do cimento dos mesmos.

Os xistos argilosos apresentam-se por vezes grafitosos e com disseminações de piritite diagenética, geralmente inframilimétrica, podendo, no entanto, chegar a cristais euédricos de 2-3 milímetros de dimensão. Estes podem ser igualmente observados, de forma esporádica, nas bancadas de grauvaques.

A deformação frágil que afeta estas litologias manifesta-se de forma diferencial, em função do seu comportamento reológico, verificando-se maior competência dos grauvaques que, no entanto, podem exibir forte fracturação do tarolo. Já as zonas com predominância de xistos argilosos, intersectadas por planos de falha, exibem forte esmagamento e cominuição da rocha, no seio da qual se observam clastos rolados de quartzo e grauvaque que chegam a dimensões centimétricas.

### 3.2.2. Complexo Vulcano-Sedimentar

- Sedimentos Vulcanogénicos

A muro dos turbiditos da formação de Mértola ocorre uma sequência de sedimentos vulcanogénicos que correspondem à Formação do Paraíso (*e.g.* Barriga, 1983; Relvas, 1991; Relvas

*et al.*, 2011), unidade que marca o topo do CVS. O contacto é feito de forma gradual, observando-se uma transição nos sedimentos mais finos (argilitos escuros/negros) que apresentam colorações progressivamente mais claras em profundidade, com predomínio de tufitos e xistos argilosos. As litologias desta unidade são assim constituídas por sedimentos vulcânicos finos de tonalidades esverdeadas dominantes, pontualmente de cor púrpura, muito homogêneos e contínuos, que podem exibir algumas passagens a níveis centimétricos mais escuros e acinzentados (Fig. 3.2 A, B). Verifica-se também o predomínio de meta-sedimentos (xistos) cinzentos, frequentemente siltíticos, nos quais se observam inclusões de pequenas lenticulas, estiradas e dobradas de argilitos negros (Fig. 3.2 C). A presença de preenchimentos de fraturas por quartzo leitoso, faz-se notar de forma mais intensa em níveis superiores desta formação, na sua transição para os turbiditos da Fm. de Mértola. Esta profusão intensa de veios de quartzo com algum carbonato, de espessura variada, segundo orientações diversas, mas com predomínio para planos S1, estende-se por algumas dezenas de metros.

- Sedimentos Siliciosos – Chertes e Jaspes

A base da Formação do Paraíso é caracterizada por uma unidade de sedimentos siliciosos, de natureza quimiogénica, expressa por níveis descontínuos variavelmente silicificados, nos quais é possível ainda encontrar relíquias de rochas vulcânicas envolvidas, por vezes bastante cloritizadas. Estes litótipos (Fig. 3.2 D-E), de textura homogênea muito fina, criptocristalina, e que resultam de precipitação hidrotermal (*e.g.* Barriga, 1983; Relvas, 1991; Mirão, 1996), evidenciam zonas de forte coloração avermelhada típica de jaspes hematíticos, que estão englobadas por zonas siliciosas – chertes – de tonalidades cinza-azuladas que dominam as amostras em questão. São assim bem visíveis, as frentes de reação entre o jaspe e os fluidos redutores que propiciaram a alteração (hidrotermal) da hematite para magnetite (devidamente discriminada por métodos magnéticos), bem como a presença de pontuais, mas frequentes cristais de pirite, euédricos, geralmente com dimensão até 1 milímetro.

Estes sedimentos siliciosos exibem uma razoável profusão de venulações de quartzo (+carbonato, +/- clorite, +/- óxidos) associadas, com direções diversas, havendo a destacar os mais grosseiros (cerca de 1 milímetro) que constituem preenchimentos de planos de fracturação dominante de inclinação aproximada de 40° (50°CA).

- Rochas vulcânicas félsicas

As rochas vulcânicas félsicas que encaixam o minério caracterizam-se por apresentar texturas tipicamente vulcanoclásticas, encontrando-se variavelmente alteradas em profundidade devido aos processos de alteração hidrotermal precoce, de carácter regional, bem como aos efeitos da circulação hidrotermal mineralizante a que foram sujeitas subsequentemente.

A intensidade da alteração hidrotermal sofrida por estas rochas oblitera total ou parcialmente as características mineralógicas e texturais primárias, o que dificulta de sobremaneira a interpretação dos processos vulcânicos que lhes deram origem. Não obstante, com base sobretudo nas observações efetuadas em rochas menos alteradas, especialmente a teto da massa lenticular mineralizada, que ainda conservam algumas características primárias dos processos vulcânicos, identificaram-se fácies do tipo brecha com abundante *fiamme* e fragmentos de fenocristais que representam texturas piroclásticas preservadas (Rosa *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2013). A vulcanologia física destas rochas foi posta em evidência por diversos autores (*e.g.* Rosa *et al.*, 2010; McPhie *et al.*, 1993), que mostraram serem estas as fácies predominantes na sequência de muro das massas mineralizadas de Aljustrel, que dão corpo à chamada Formação do Tufo da Mina. Por comodidade descritiva na sua relação com os termos usados na literatura disponível, continuaremos a adotar essa designação para as rochas desta unidade.

Pela sua relevância textural e significados genético e classificativo, importa desde já destacar e definir os elementos físicos anteriormente referidos como *fiamme*. Este termo designa estruturas vesiculares presentes neste tipo de rochas, que correspondem a clastos de pomito de dimensão *lapilli*, e que sofreram compactação durante o processo de diagénese e metamorfismo. Para além de possuírem abundantes clastos de pomito, estas rochas de composição félsica são predominantemente feldspatofíricas e exibem uma foliação bem marcada, com orientação bem definida, segundo S1, das diversas fases minerais presentes (fenocristais e matriz). Esta característica textural, associada ao tectono-metamorfismo regional e respetivos processos de deformação, traduz-se pela quase total transposição de todos os elementos litológicos pré-tectónicos segundo a direção da xistosidade.

Os fenocristais de feldspato (Fig. 3.3 F, G) e/ou os fragmentos dos mesmos, apresentam dimensões reduzidas - entre 2 e 3 mm - com hábitos sub-tabulares a fusiformes e surgem bastante alterados, por vezes fraturados, consistindo frequentemente apenas em “sombras” ou em “reliíquias”, incompletamente substituídas.

A matriz, originalmente de composição felsítica, apresenta grão fino a médio e tonalidades esverdeadas, típicas de associações filossilicatadas, uma vez que, embora secundárias, a clorite e a sericite surgem como fases minerais principais. Na maioria das amostras estudadas, a sericite apresenta-se como o mineral secundário mais abundante, quer a teto, quer a muro, em zonas periféricas relativamente ao núcleo clorítico, fortemente sulfuretado, do sistema mineralizante (minério fissural), onde atinge a sua expressão mais significativa.

A sericitização e a cloritização são acompanhadas por silicificação gradual do encaixante à medida que nos aproximamos em profundidade dos níveis mais mineralizados, evidenciada por transições métricas variavelmente ricas em quartzo que englobam os filossilicatos remanescentes e que aumentam visivelmente a competência reológica da rocha. Observa-se também uma sulfuretização incipiente nos níveis vulcânicos de topo, expressa pela disseminação, regular, mas pouco intensa, de finos cristais euédricos de pirite ( $< 0,5$  mm), possivelmente diagenética. Algumas amostras a teto do minério revelam ainda importantes níveis com enriquecimento em carbonatos (carbonatação) que se distribuem sob forma de bandas lenticulares centimétricas (Fig. 3.3 F), que envolvem e por vezes obliteram as restantes fases minerais presentes.

No seio desta matriz predominantemente tomada por filossilicatos surgem abundantes lenticulas, com larguras milimétricas até aproximadamente 1 cm, de vidro vulcânico normalmente cloritizado, mais escuras e muito finas e achatadas (espessuras até 1 mm). A ocorrência de abundante *fiamme* sustenta a ideia de uma erupção submarina, na qual as vesículas de pomito teriam sido preenchidas por água, e estes, englobados no depósito piroclástico (Whitman & Sparks, 1986 *in* Oliveira *et al.*, 2013). A típica morfologia alongada e pouco espessa observada deve-se naturalmente à deformação destes corpos vítreos e vesiculados, fortemente suscetíveis à alteração e ao achatamento e reorientação tectono-metamórfica.

A muro do horizonte mineralizado, a associação mineral secundária apresenta-se macroscopicamente dominada pela sericite e o quartzo hidrotermal, com a clorite e a pirite a ocorrerem em bandas até 1 cm de espessura que correspondem aparentemente a veios mineralizados transpostos pela xistosidade e/ou paralelizados em passagens caracterizadas por *fabrics* tectónicos associados a cisalhamentos (corredores c).

Os carbonatos são pouco abundantes ou raros, e surgem em tonalidades bege a acastanhadas, menos frequentes que nos níveis superiores, e sob forma de finas venulações tardias. Por vezes, a rocha félsica encaixante exibe texturas afaníticas, com alguma laminação textural, onde a presença de fenocristais de feldspato e/ou fragmentos do mesmo é, em amostra de mão, muito menos frequente do que a teto, e apresentam menores dimensões (Fig. 3.3 P).

- Mineralização sulfuretada

As rochas vulcânicas anteriormente descritas apresentam-se variavelmente mineralizadas, por vezes com transições abruptas, nomeadamente a topo (Fig. 3.3 H), que materializam contactos entre domínios nos quais os efeitos dos processos metassomáticos/mineralizantes se manifestam de forma contrastante por associações minerais diversas, tal como é característico nesta tipologia de jazigos.

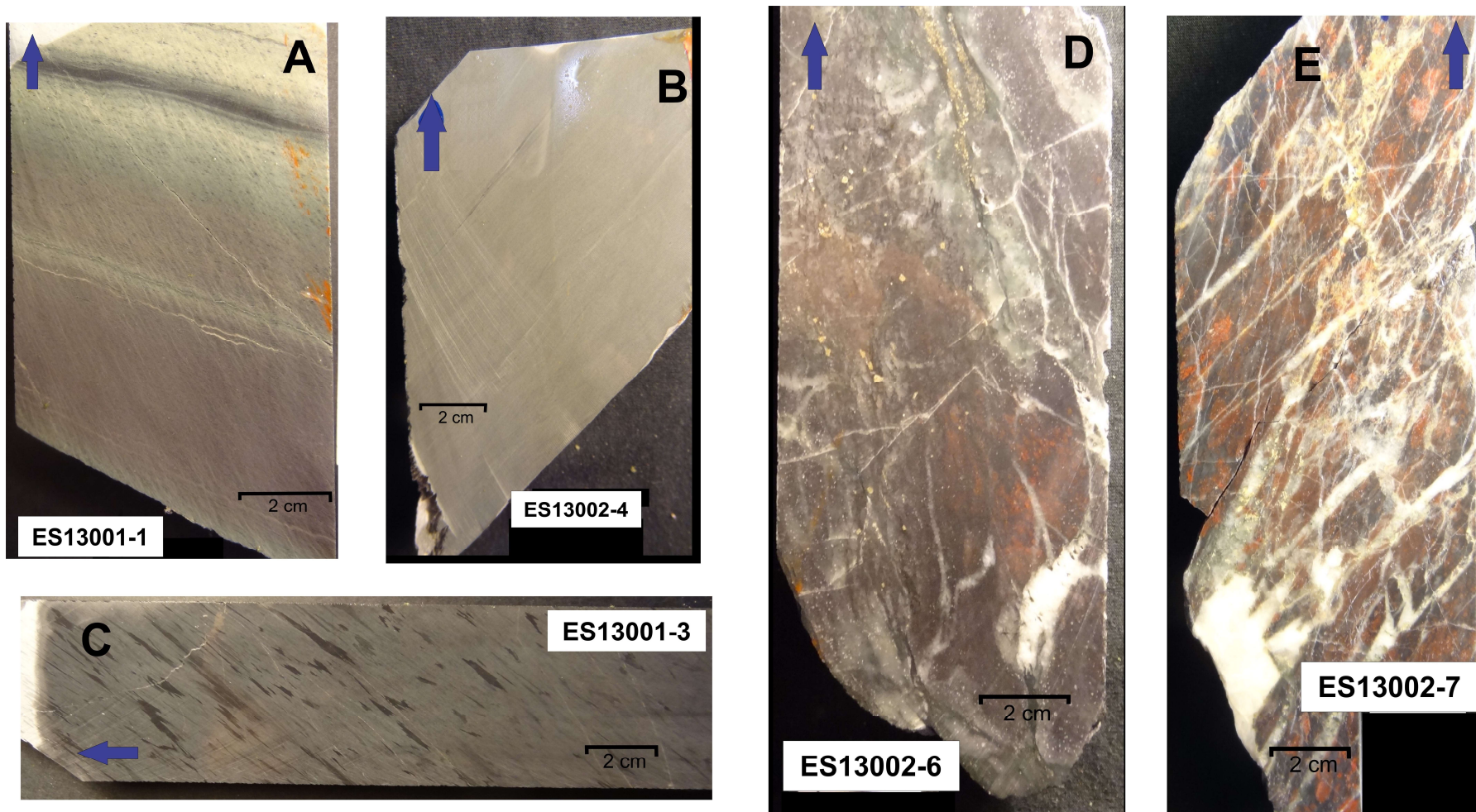
Nos minérios fissurais, mas também nos domínios maciços ou submaciços, o cortejo mineralógico sulfuretado é amplamente dominado pela pirite, à qual se associam a esfalerite a galena e a calcopirite como fases minerais acessórias, de mais fácil observação e distinção a olho nu. Quer a esfalerite, quer a galena surgem frequentemente associadas entre si, em zonas de minério pirítico semi-maciço a maciço, sob forma de bandas ou níveis (Fig 3.3 K), evidenciando predominantes tonalidades acinzentadas, mais ou menos azuladas segundo a maior ou menor percentagem relativa de galena. A esfalerite ocorre igualmente em bandas ou venulações acastanhadas escuras, irregulares (Fig. 3.3 J), distribuídas no seio de pirite maciça de grão fino a médio, nos interstícios da qual é ainda possível observar macroscopicamente raras lenticulas de clorite, bem como algum quartzo e carbonatos associados. Em zonas de minério maciço, a calcopirite encontra-se subordinada às demais fases sulfuretadas, surgindo de forma disseminada, mas muito pontual.

Os níveis inferiores desta sequência mineralizada, habitualmente designados por zonas de minério fissural (ou *stockwork*), diferenciam-se dos anteriores pela ocorrência de sulfuretos em veios mineralizados com variadas possanças, desde espessuras milimétricas a decimétricas, encaixados em rochas vulcanoclásticas muito alteradas, por vezes totalmente cloritizadas. Estes “clorititos” de tonalidades escuras, (terminologia atribuída a Schermerhorn (1978) na FPI; ver também Barriga, 1983; Relvas, 1991; Carvalho *et al.*, 1999; Fernandes, 2011), hospedam veios e disseminações de sulfuretos associados a quartzo, clorite, carbonatos (*e.g.* Fig. 3.3 L) e alguma sericite, esta com tonalidades mais acinzentadas. Estas zonas de minério fissural em que a cloritização é fortemente pervasiva e a rocha encaixante totalmente alterada corresponderão certamente ao eixo de alimentação do sistema hidrotermal do jazigo.

A mineralogia sulfuretada nestes níveis é ainda dominada pela pirite, ainda que não tão predominantemente como em níveis superiores. A esta associa-se a calcopirite, mais abundante que em zonas de minério maciço e ocorrendo tipicamente distribuída em veios e vénulas irregulares e anastomosadas. A esfalerite, bastante mais rara, completa a paragénese sulfuretada observável.

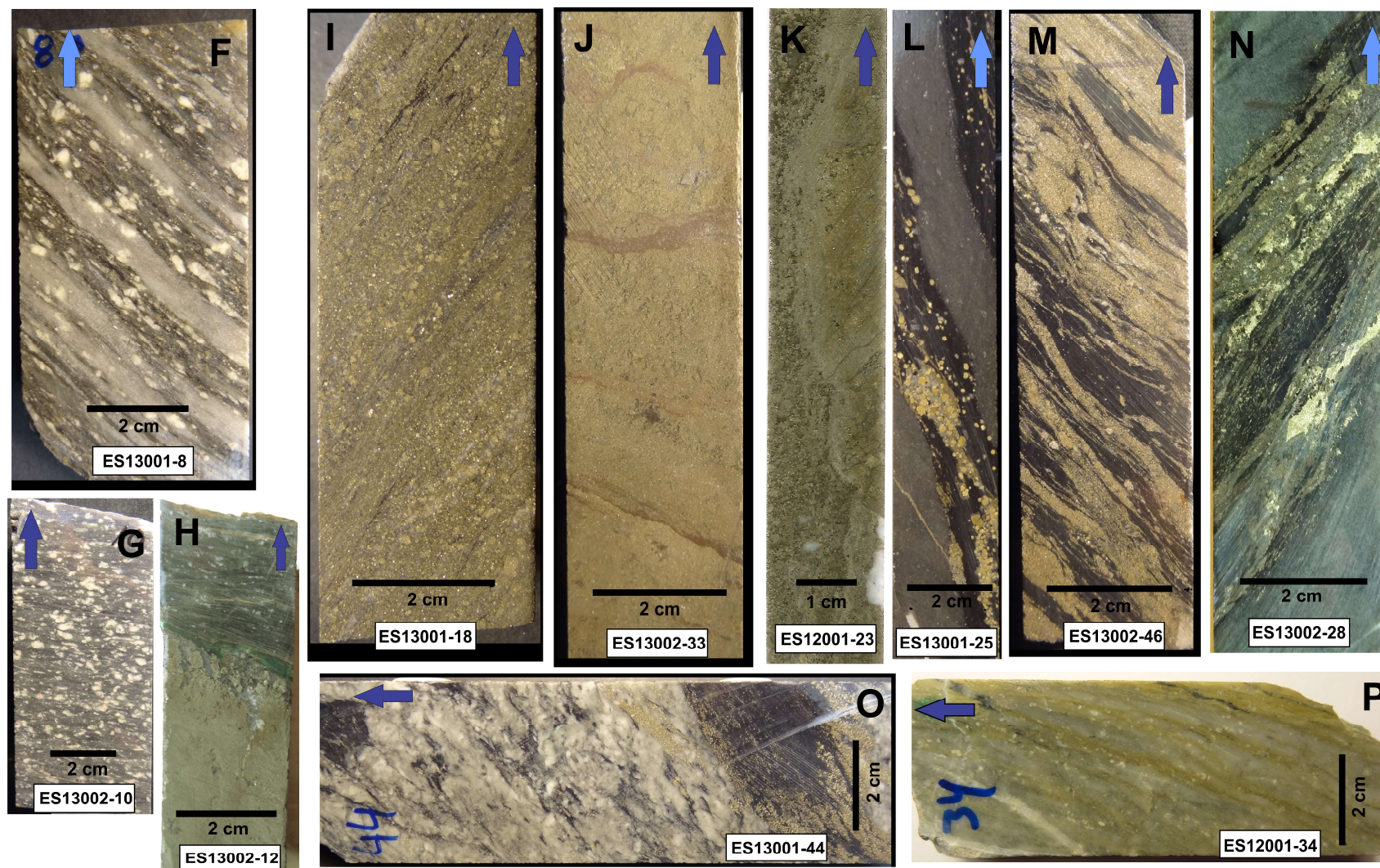
Toda a sequência mineralizada foi fortemente tectonizada, gerando-se abundantes dobramentos dos veios mais finos constituídos por quartzo e sulfuretos, bem como significativa remobilização dos minerais mais dúcteis, como a calcopirite e a galena, em planos de cisalhamento. De um modo geral os níveis mineralizados encontram-se transpostos tectonicamente e orientados segundo a xistosidade, tal como já evidenciado por diversos elementos litológicos observados a teto das massas mineralizadas.





**Figura 3.2** – Fotografias de porções de testemunho representativos de sedimentos vulcanogênicos, e sedimentos siliciosos de derivação hidrotermal, ambos associados à Fm. do Paraíso. A seta azul indica o topo da sondagem. **A-B** – Sedimentos finos esverdeados e púrpura, sericitizados; **C** - Sedimentos finos acinzentados, por vezes siltíticos; **D-E** – Sedimentos siliciosos quimiogênicos. Evidências de redução da hematite para magnetite com pirite associada (e.g. topo da fotografia D)





**Figura 3.3** – Fotografias de porções de testemunho representativas das rochas do Complexo Vulcano-Sedimentar de Aljustrel, associadas ao jazigo de Estação. A seta azul indica o topo da sondagem. **F-G** – Rochas vulcanoclásticas fêlsicas a teto do minério maciço; **H** – A Amostra evidenciando a zona de contacto entre o encaixante e os sulfuretos maciços; **I** – Minério maciço pirítico (MSX - PYF); **J-K** – Minério maciço pirítico—esfalerítico (MSX - PYF/ZNF); **L-M** – Stockwork pirítico (STWK - PYF); **N** – Stockwork pirítico-cuprífero (STWK - PYF/CUF); **O-P** – Litótipos vulcânicos fêlsicos muito alterados, subjacentes ao minério fissural



### **3.3. Implantação de sondagens – Reconstituição geoestrutural**

Uma vez caracterizadas as principais litologias associadas ao jazigo de Estação, e tendo sido efetuados os respetivos *logs* de sondagem (Fig. 3.4; Anexo I), as sondagens estudadas foram implantadas nos perfis de orientação geral NE-SW anteriormente referidos (Fig. 3.1), correspondendo a planos subperpendiculares às principais estruturas geológicas na área em questão. Este procedimento foi realizado através da projeção em planta (rebatimento) das três sondagens já referidas (ES13001, ES13002 e ES12001), nos perfis correspondentes às secções 400, 280 e 200, pré-definidas para o jazigo de Estação, tendo as interpretações geológicas preconizadas beneficiado igualmente do conhecimento de alguns *logs* de sondagens mais antigas tornados disponíveis pela empresa Almina, S.A. Este rebatimento abrangeu toda a informação projetada numa extensão de 50 m a NW e SE dos respetivos perfis. Toda a informação fornecida pela empresa Almina S.A – Minas do Alentejo relativa a estas sondagens realizadas anteriormente a 2012, nomeadamente os *logs* sintéticos e/ou detalhados, bem como a implantação destes furos, revelou-se fundamental à construção do modelo estrutural da geologia deste jazigo.

Sobre o perfil NW (Fig. 3.5), localizado naquele extremo da massa mineralizada, foram implantadas 4 sondagens de superfície. A sondagem ES13001, com cerca de 953.50 m de comprimento, constituiu o ponto de partida para reconstituição da estrutura e construção do respetivo corte geológico. Para tal foi fundamental a informação fornecida pelas restantes sondagens implantadas, nomeadamente, de SW para NE: ES0013-1840, ES97006 e ES97003. Estas sondagens possibilitaram a determinação da extensão da lenticula mineralizada no extremo SW do perfil, bem como a possança da massa de minério maciço na zona central do sistema, naquele sector. A sondagem ES13001 pôs em evidência acima de tudo a extensão vertical do minério fissural, correspondente a parte de *stockwork* mineralizado.

O corte geológico referente ao perfil Central (Fig. 3.6), foi produzido a partir da implantação da sondagem ES13002, com cerca de 722 m de extensão, além da E12-4A, E12-4, ES07015, ES97001, ES07016, e parte da sondagem ES12001 cuja projeção foi prolongada – a tracejado – até à sua extensão máxima (898 m). Em termos práticos, o prolongamento desta sondagem, a partir da cota 330 (aproximadamente), mais não foi que um rebatimento ao plano do perfil Central, de informação geológica relativa a uma distância superior a 50 m, para SE, que se revelou geologicamente bastante consistente.

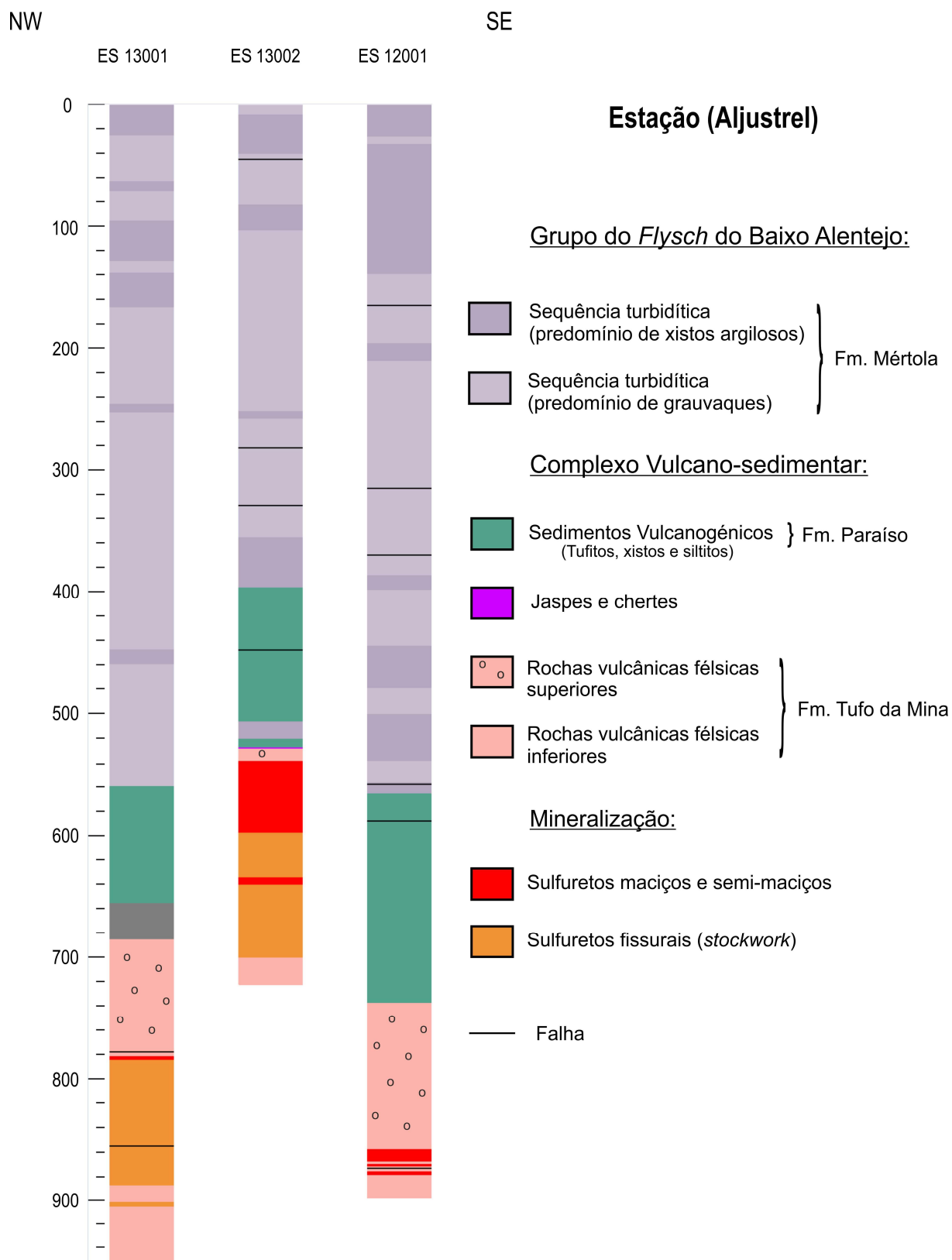
Neste corte geológico (Fig. 3.6), é possível ter uma noção mais concreta da espessura máxima do minério maciço (à semelhança do que sucede com o perfil SE) que é intersectado pela sondagem ES13002 aos 537.50 m de furo, ainda que haja a necessidade de acautelar sobressessamentos de minério decorrentes de movimentos associados a uma falha, designada por F2.

Sobre o perfil SE foram implantadas as sondagens ES12001, bem como, de SW para NE, as sondagens ES97007, ES97010, ES97005, E13-3 e ES97001. Um pequeno troço da sondagem ES13002 encontra-se igualmente implantado na zona mineralizada. Este perfil constitui certamente aquele cujo grau de certeza relativo à real espessura de algumas unidades, nomeadamente os níveis mineralizados – minério maciço e fissural – é maior, face à densidade relativa de intersecções realizadas. Neste sentido, a representação geológico-estrutural aqui apresentada, foi suportada por sete sondagens de superfície, todas elas com intersecções bem-sucedidas. O furo ES12001, quase no limite NE da lenticula de minério, terá sido porventura de fundamental importância para a determinação do fecho da massa naquele sector.

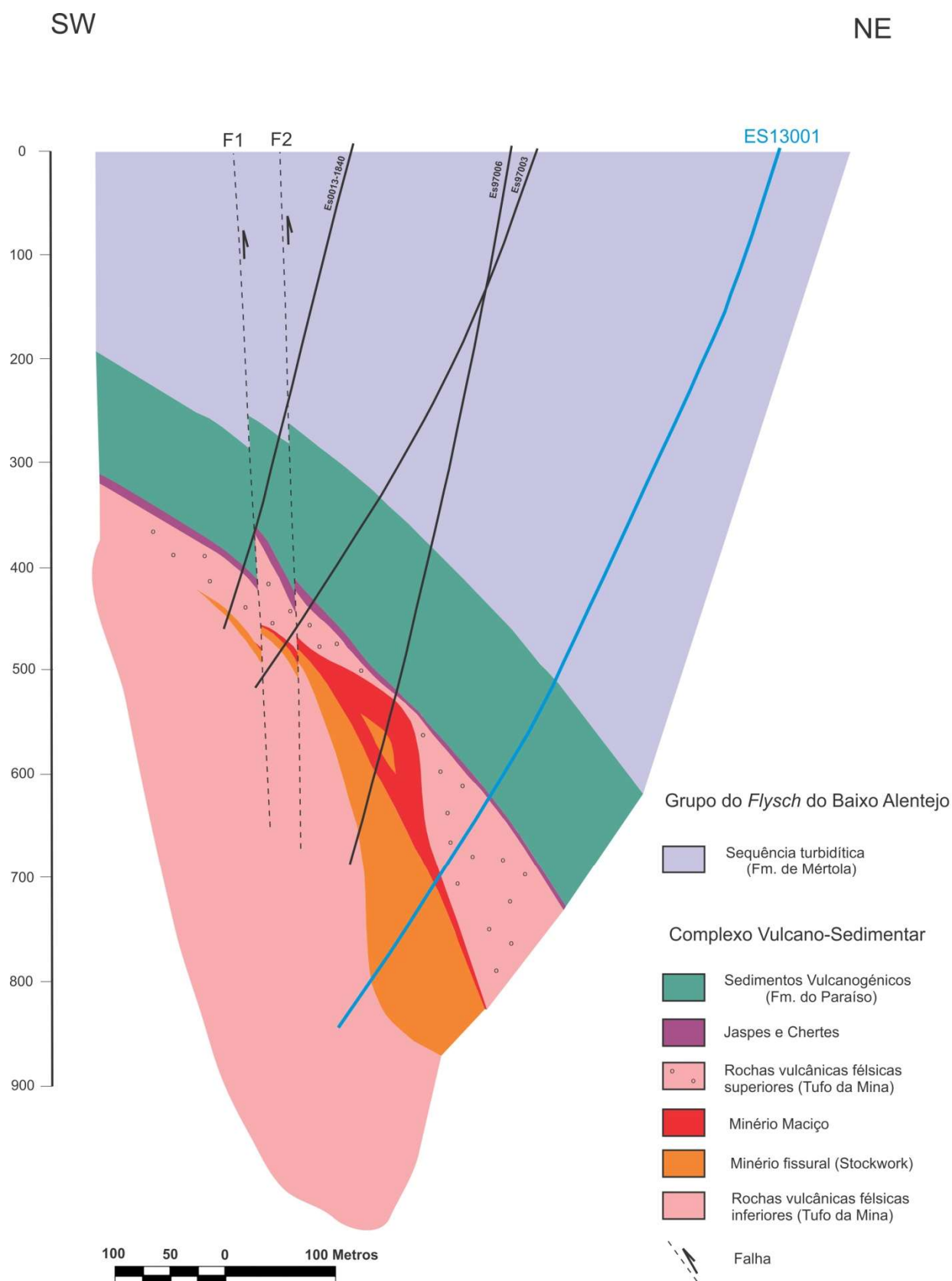
Numa perspetiva mais abrangente, e analisando a reconstituição estrutural dos três cortes geológicos apresentados, constata-se que o jazigo de Estação se apresenta hospedado por uma estrutura monoclinial, relativamente simples e monótona, correspondente ao flanco normal do anticlinal de Feitais que integra igualmente, a Sul, e como já indicado, o jazigo de Feitais rejeitado do anterior em cerca de 550 m pela falha da Represa (ver Fig. 2.10). Estas unidades exibem uma inclinação geral de 40 a 50° para NE e uma direção aproximada NW-SE. A intersecção dos principais limites das unidades que

constituem esta sequência, é feita a cotas sucessivamente mais baixas, de SE para NW, o que evidencia uma característica estrutural recorrente na FPI, nomeadamente a inclinação geral de toda a estrutura para W – WNW, aproximadamente. Verifica-se assim o mergulho dos eixos das dobras e, consequentemente, o fecho cartográfico das estruturas anticlinais naquela direção. Este pendor é igualmente partilhado pela massa mineralizada de Estação. Esta estrutura de morfologia tipicamente lenticular, apresenta uma inclinação geral de 60° para NE (Figs. 3.6 e 3.7); o seu eixo de maior alongamento orienta-se segundo uma direção N50°W (Fig. 3.1), mergulhando cerca de 30°. A partir dos perfis Central e SE é possível estimar uma largura para o jazigo – 330 a 350 m – e uma possança máxima aproximada de 80-90 m, para a lenticula de minério maciço.

A sequência litoestratigráfica que hospeda o jazigo de Estação apresenta-se afetada por duas falhas, F1 e F2, subverticais ou fortemente inclinadas, exibindo movimentação inversa, real ou aparente, de NE para SW e rejeitos aproximados de 40 e 25 m, respetivamente. Dada a inclinação das camadas, as componentes de desligamento horizontal, caso existam, poderão ser responsáveis por introduzir um movimento de carácter cavalgante aparente nestas falhas, mas com os dados disponíveis tal não é possível comprovar. Não obstante, nada indica que possa ter sido muito significativo, dada a inexistência de descontinuidades geométricas significativas entre os dois blocos das respetivas falhas. Estes dois acidentes tectónicos relativamente tardios, de orientação aproximada NW-SE, cortam assim o jazigo de Estação no seu bordo SW, sem que seja, no entanto, possível avaliar precisamente movimentações horizontais associadas.



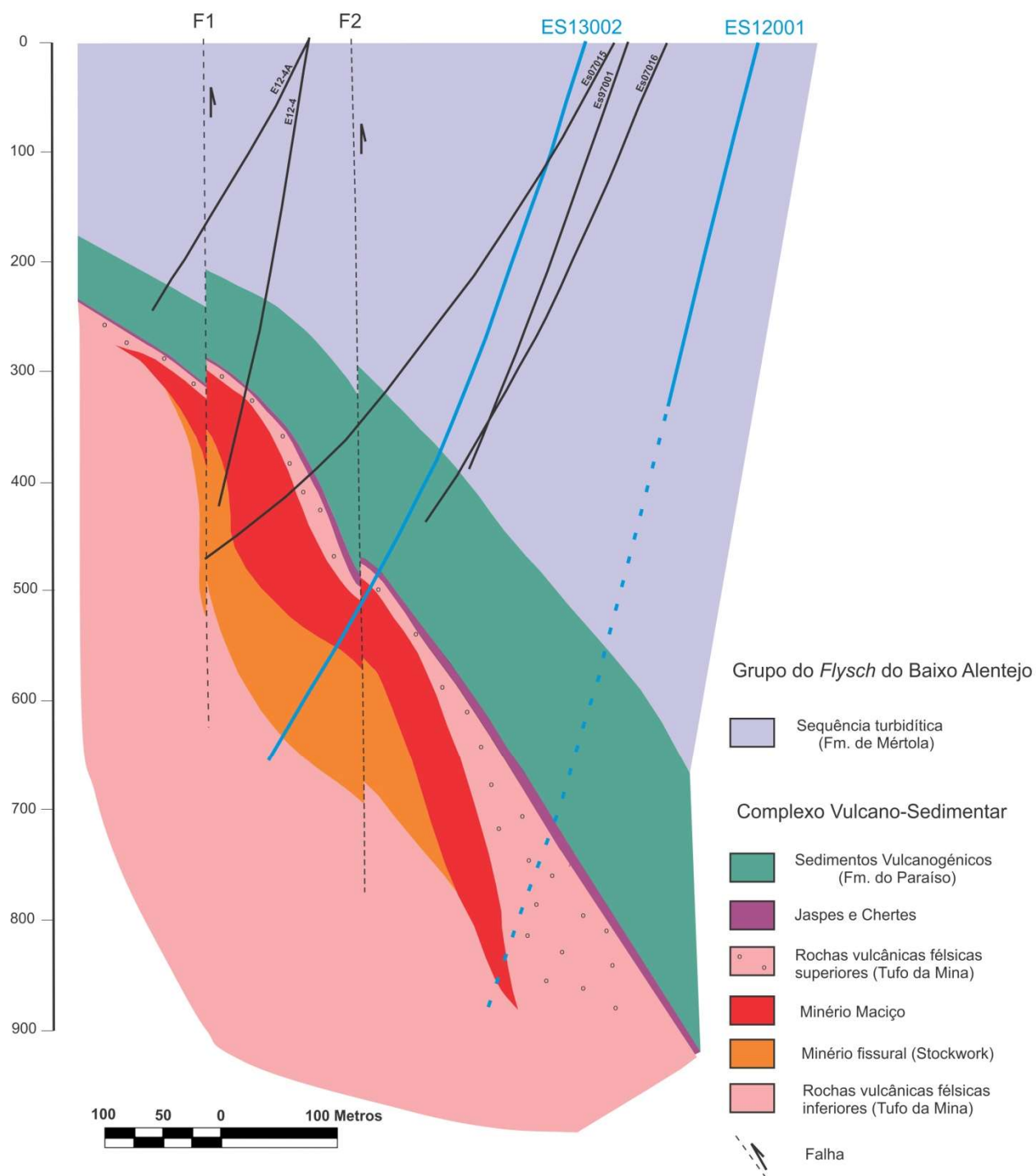
**Figura 3.4** – Log litoestratigráfico das sondagens ES13001, ES13002 e ES12001



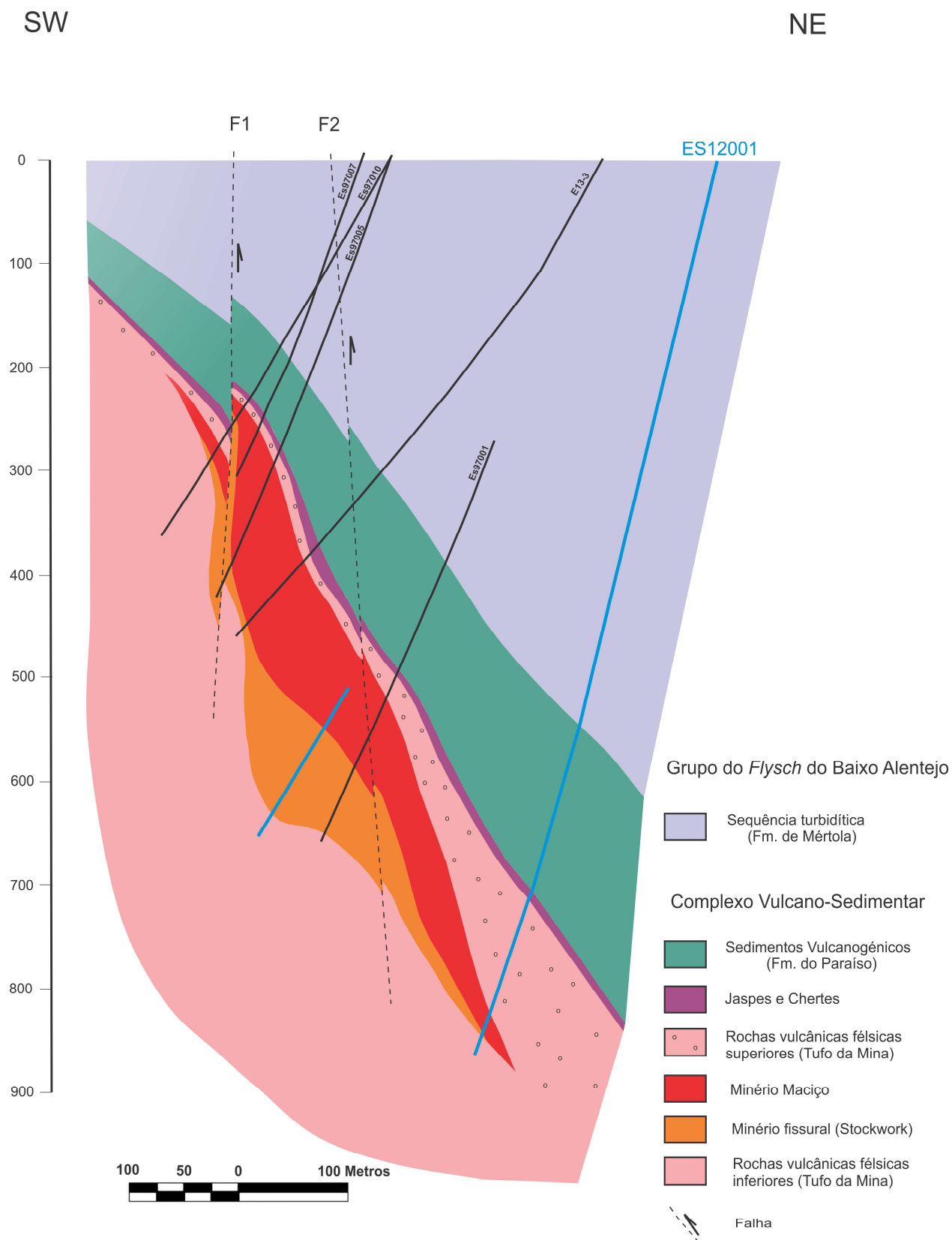
**Figura 3.5** – Corte geológico da estrutura do jazigo de Estação segundo o Perfil NW

SW

NE



**Figura 3.6** – Corte geológico da estrutura do jazigo de Estação segundo o Perfil Central



**Figura 3.7** – Corte geológico da estrutura do jazigo de Estação segundo o Perfil SE

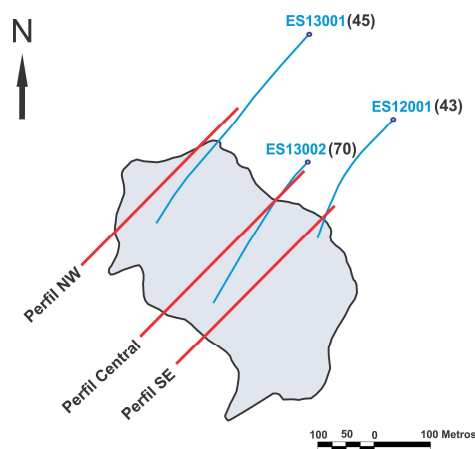
## 4. Amostragem e Métodos Analíticos

### 4.1. Amostragem

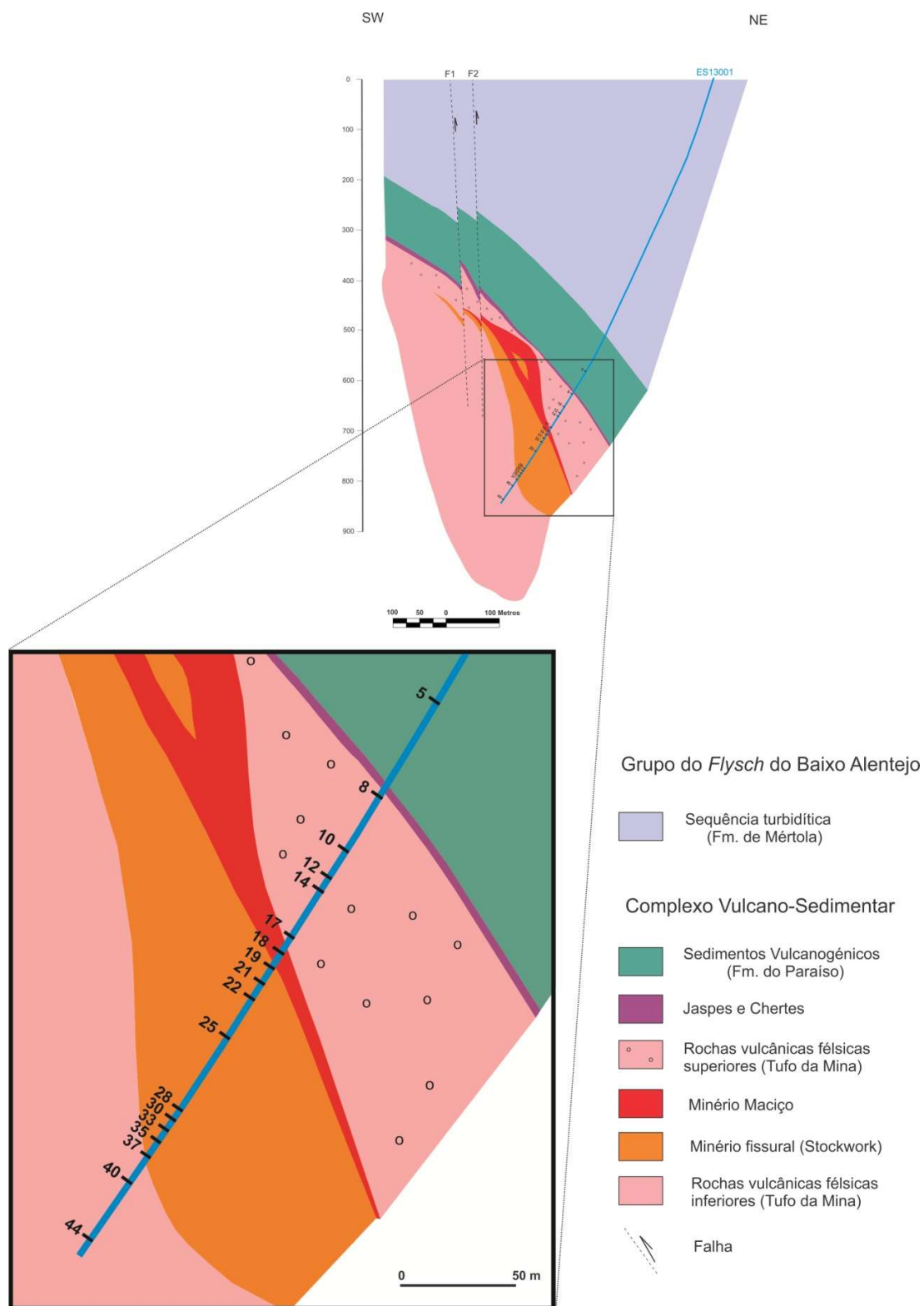
Posteriormente à etapa de *relogging* e conseguida uma reconstituição aproximada da estrutura geológica do jazigo de Estação, procedeu-se à amostragem das várias unidades litoestratigráficas intersectadas pelas sondagens estudadas. Estas, em posição estratigráfica normal, ainda que fortemente inclinadas, e isentas de complexidades estruturais significativas, como inversões e repetições de grande escala, permitiram a posicionamento direto das amostras na sequência, sem necessidade de uma reconstituição pré-deformacional, exercício essencial no estabelecimento da relação espacial original entre as amostras e as zonas de alteração hidrotermal associada, uma necessidade muito frequentemente sentida em estudos similares efetuados em outros jazigos na FPI (ver Cap 2).

O processo de amostragem realizado obedeceu a critérios de representatividade, numa base de rigor e objetividade que permitiram a escolha das amostras que melhor evidenciavam as características de cada unidade. A objetividade na escolha de características representativas, permitiu também reduzir os erros mais comuns associados a esta etapa, relacionados por vezes com a heterogeneidade natural das fácies em questão. Esta heterogeneidade ou variabilidade litológica, bem como a importância relativa das várias litologias face aos objetivos do trabalho realizado, orientaram o processo de amostragem bem como a sua densidade. Neste sentido, e relativamente aos objetivos deste trabalho, destaca-se a importância dada à amostragem das rochas vulcânicas afetadas pelos processos de alteração hidrotermal, respetivas paragéneses secundárias associadas, com ou sem mineralização associada.

Durante esta etapa inicial foram colhidas 158 amostras, distribuídas pelas sondagens ES13001 (45 amostras), ES13002 (70 amostras) e ES12001 (43 amostras). As amostras foram referenciadas com uma numeração absoluta, iniciada para cada sondagem com o número um, que remete para a respetiva metragem, tal como se encontra tabelado no Anexo I. A sondagem ES13002 foi a mais amostrada pela sua localização central ao corpo mineralizado, exibindo uma sequência litoestratigráfica mais completa, e com uma zona mineralizada mais extensa relativamente às restantes, a ES13001 e a ES12001. Estas sondagens, mais periféricas relativamente à massa mineralizada (ES13001, com intersecção no bordo NW e a ES12001, com intersecção no bordo NE), complementam a informação fornecida pela sondagem ES13002.

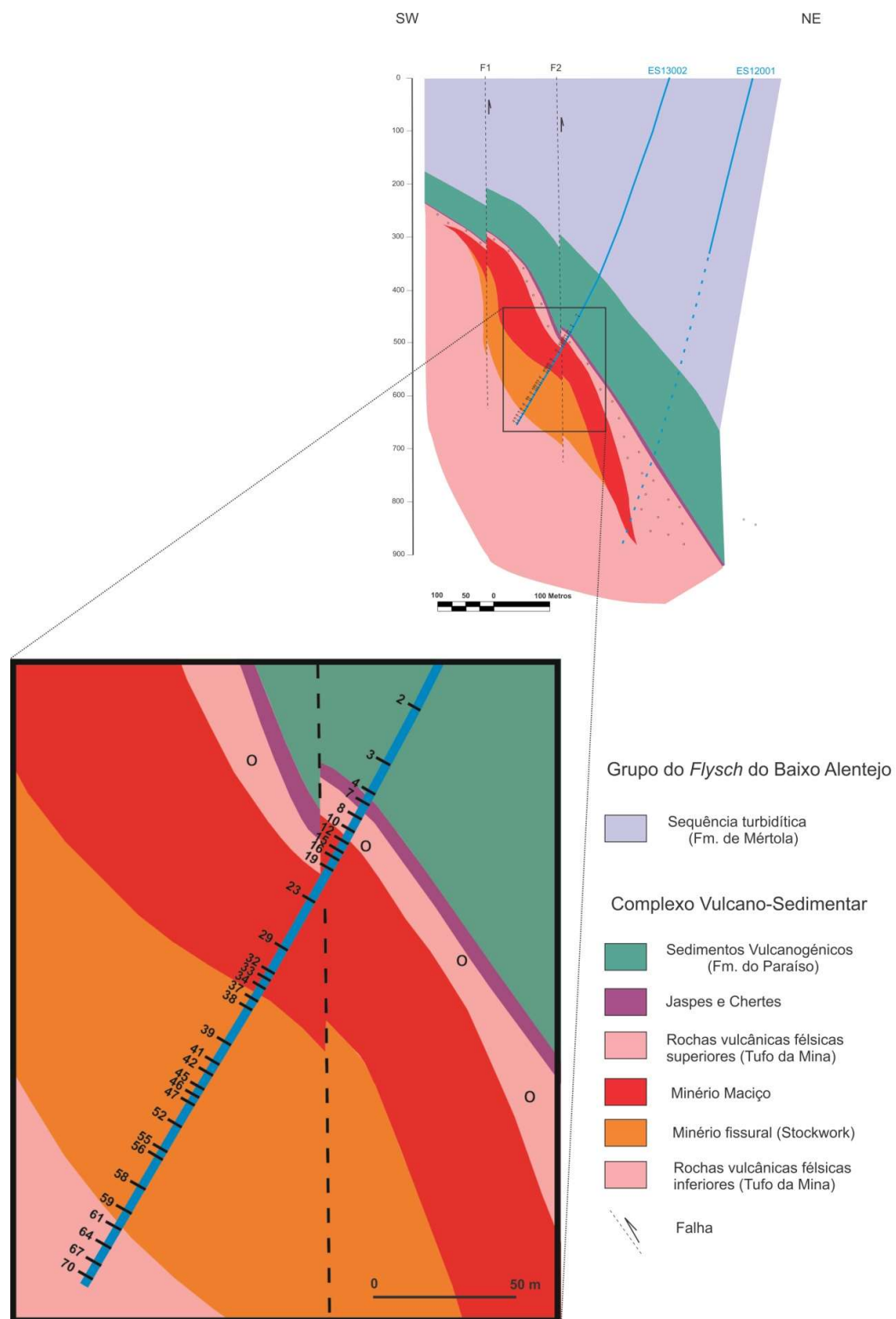


**Figura 4.1** – Projeção em planta, das sondagens ES13001, ES13002 e 12001 e dos perfis NW, Central e SE no jazigo de Estação, com a respetiva distribuição (entre parênteses) da amostragem efetuada

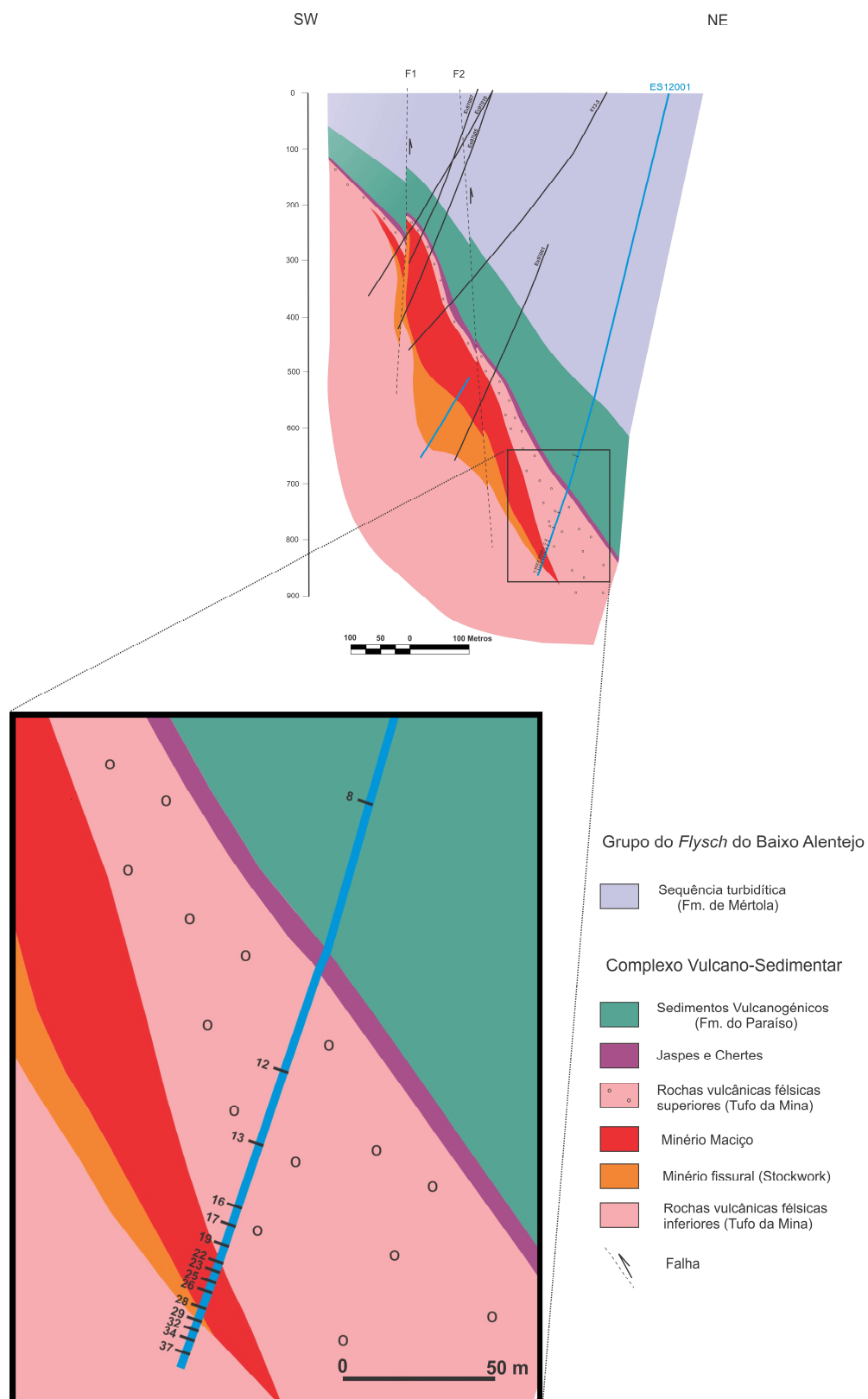


**Figura 4.2** – Representação gráfica do corte NW, com indicação das amostras colhidas ao longo da sondagem ES13001 de que foram produzidas lâminas polidas (ver Anexo II)





**Figura 4.3** – Representação gráfica do corte Central, com indicação das amostras colhidas ao longo da sondagem ES13002 de que foram produzidas lâminas polidas (ver Anexo II)



**Figura 4.4** – Representação gráfica do corte SE, com indicação das amostras colhidas ao longo da sondagem ES12001 de que foram produzidas lâminas polidas (ver Anexo II)

## **4.2. Metodologias e técnicas analíticas**

### **4.2.1. Lâminas polidas**

De entre o total de amostras colhidas, 65 foram selecionadas para produção de lâminas polidas destinadas à caracterização petrográfica dos vários litótipos, com especial atenção para a mineralogia e textura das paragénese de alteração hidrotermal, nas quais se incluem os minerais sulfuretados de interesse económico. As diversas fases referentes a esta etapa tiveram lugar no laboratório de receção, lavagem e serração de rochas, e no laboratório de lâminas polidas do DGFCUL. Por cada amostra selecionada foi realizado o corte de uma talisca com cerca de 3,3 cm de comprimento por 2,3 cm de largura, a partir da qual se produziu uma lâmina com cerca de 30 µm de espessura, que constitui a espessura de rocha padrão utilizada para estudos de microscopia.

Este conjunto de 65 amostras selecionadas (Fig. 4.2 a 4.4) constituiu a base de todo o trabalho realizado subsequentemente. Sobre estas, recaíram os vários estudos e respetivas metodologias utilizadas, sintetizados no Anexo II.

### **4.2.2. Microsonda Eletrónica**

O estudo de química mineral (Capítulo 6) levado a cabo para os minerais transparentes (silicatos e carbonatos) incidiu sobre 28 lâminas polidas e foi realizado no laboratório de microanálise do DGFCUL, recorrendo a uma microsonda eletrónica sob as seguintes condições analíticas: voltagem de aceleração de 15 kV, uma intensidade de corrente de 25nA, para um diâmetro de feixe de 5 µm e tempos de aquisição de 20 s para os picos e de 5 s para a radiação de fundo.

Este equipamento, o JEOL JXA 8200, constitui um poderoso meio de análise que permite a determinação da composição elementar dos minerais de amostras devidamente preparadas, podendo identificar uma gama substancial de elementos, do boro ( $Z=6$ ) ao urânio ( $Z=92$ ). A microsonda JEOL JXA 8200 consiste num sistema integrado que combina as características de um microscópio eletrónico de varrimento (MEV), mais direcionado para análise de imagens de grande ampliação, com uma microsonda eletrónica de alta resolução que permite análises químicas de grande precisão, circunscritas a volumes aproximados entre 1 a 9 µm<sup>3</sup>. Este equipamento é composto por quatro espectrómetros de dispersão de comprimento de onda (WDS) e um quinto de dispersão de energia de raios-X (EDS). A seleção de áreas específicas, a uma escala maior, é realizada com auxílio de um microscópio ótico de luz transmitida que permite um posicionamento do feixe com cerca de 1 µm de precisão.

O método analítico em questão (EMPA) é geralmente não destrutivo e consiste na incidência de um feixe de eletrões sobre uma amostra (*e.g.* lâmina polida) polida e revestida por uma película de carbono com espessura aproximada de 20 nanómetros (Reed, 2005). Este bombardeamento de eletrões sobre a amostra induz a dispersão de matéria e de energia, nomeadamente eletrões e radiação X. Esta radiação deriva de colisões inelásticas entre os eletrões incidentes e os que se encontram em níveis atómicos mais internos nos átomos da amostra, e uma vez libertada apresenta uma intensidade característica de cada elemento químico. A determinação da concentração dos elementos numa amostra é então possível por comparação com a intensidade de radiação X emitida por um padrão de composição conhecida. Há, no entanto, como em qualquer método analítico, a necessidade de descontar erros associados ao processo e efetuar as correções devidas.

A obtenção de imagens de grande ampliação e resolução, associadas à dispersão eletrónica de eletrões secundários e eletrões retro-difundidos (ERD) através deste método, permitiram durante o decorrer desta etapa, uma visualização de relevos e tonalidades de cinzento, que correspondem respetivamente a variações texturais e composicionais, importantes na definição de áreas específicas a

analisar. No caso do presente estudo, as análises foram calibradas com recurso a padrões metálicos e minerais, fornecidos pela empresa Astimex Scientific Ltd.

#### 4.2.3. Análise de Libertação Mineral

A análise química das fases minerais sulfuretadas foi realizada no laboratório de Estudos Mineralúrgicos da EPDM (Empresa de Perfuração e Desenvolvimento Mineiro, S.A.) – entidade pertencente ao mesmo grupo empresarial da Almina S.A – através da utilização de um Analisador de Libertação Mineral, mais conhecido por MLA, nomeadamente o MLA 650 desenvolvido pela FEI Company. No referido laboratório foram produzidas as superfícies polidas das amostras analisadas, cada uma com cerca de 30 mm de diâmetro, a partir de taliscas remanescentes da produção de lâminas polidas. Para este estudo foram selecionadas 10 amostras com características representativas dos diversos tipos de mineralização observados. Tal como nas análises realizadas por microsonda eletrónica, todas as amostras foram revestidas com uma película de carbono.

Este equipamento e a tecnologia a ele associada, foram concebidos para diversas áreas das geociências, mas surge acima de tudo como uma importante ferramenta de suporte à atividade mineira, quer na avaliação das características mineralógicas e texturais do minério, num quadro de viabilidade de novos projetos, quer nas importantes etapas de processamento metalúrgico. Neste sentido, o MLA está especialmente direcionado para a otimização das operações de processamento de minério na mina de Aljustrel, nomeadamente através da análise e caracterização de amostras de concentrados de minério e de rejeitos saídos da lavaria.

A eficácia da recuperação mineral decorrente dos processos metalúrgicos depende de uma importante propriedade, que ao mesmo tempo dá nome à metodologia em questão: a libertação mineral. A libertação mineral, como aqui se considera, nomeadamente a separação dos minerais de interesse económico dos restantes (ganga), é um fator crítico que relaciona as operações de cominuição granulométrica (*e.g.* trituração, moagem) e o grau de recuperação ou concentração do produto final, e está fortemente dependente das características texturais do minério. Desta forma, por exemplo, os dados obtidos por MLA poderão dar importante informação acerca do grau de trituração/moagem mais apropriada para uma libertação mineral ideal que satisfaça determinado objetivo, no que respeita a teores de concentrado pretendidos.

O MLA 650 é um importante analisador de mineralogia automatizado, composto por um microscópio eletrónico de varrimento (MEV) e vários espectrómetros de dispersão de raios-X, acompanhados por um software de última geração. Este sistema integrado permite uma análise mineralógica quantitativa e textural da área de amostra analisada, a partir de imagens obtidas por ERD e de determinações analíticas de raios-X.

As imagens produzidas de ERD, de alta resolução (até 0,1 a 0,2  $\mu\text{m}$ ), permitem a individualização por parte do sistema das diversas fases minerais que compõem a amostra num processo que se pode designar por discriminação de fases (Fandrich *et al.*, 2007). Neste processo, o MLA analisa as imagens de ERD obtidas pelo MEV, estabelecendo fronteiras e delimitando áreas com níveis de cinzentos semelhantes que correspondem a determinado número atómico médio, característico de um mineral específico. Para cada nível de cinzento distinguível na superfície analisada é atribuída uma cor, única e não repetível, que corresponde a cada uma das diferentes fases minerais. A identificação mineralógica processa-se por espectrometria de raios-X, a partir da qual se efetua a comparação do espectro analítico obtido para cada mineral, com um conjunto de padrões (espectros) de referência, integrados no sistema. Este processo comparativo assenta nos erros entre os diversos espectros (Fandrich *et al.*, 2007) quando o sistema efetua a comparação entre características de pico como posição, forma e intensidade (Sylvester, 2012). No caso da fase mineral não ser identificada de forma direta pelo MLA,

é considerada como “desconhecida” e classificada pelo operador através da análise estequiométrica da composição mineral, determinada a partir dos principais elementos detetados.

Diferentes modos de medição são disponibilizados pelo MLA, em função da informação mineralógica pretendida. Aqueles são suportados por imagens de ERD diferenciando-se em grande medida pela técnica analítica de raios-X utilizada. Importa neste caso referir dois desses modos ou métodos de medição que foram utilizados para as amostras em questão: o *XBSE* (*extended BSE*) e o *GXMAP* (*grain-based x-ray mapping*). O método por *XBSE* caracteriza-se por utilizar uma análise de raios-X por varrimento de área, ou, em alternativa, através uma análise pontual coincidente com o centro da fase mineral a classificar, em amostras cujo contraste de cinzentos obtido por ERD seja suficiente para uma razoável segmentação de fases e delimitação das mesmas. No caso concreto da análise por varrimento, o mesmo é realizado na zona interna da fase mineral evitando as zonas de fronteira que propiciem contaminação decorrente de fases adjacentes. O *GXMAP*, por seu turno, efetua uma análise sistemática através do estabelecimento de uma malha regular sobre a qual todos os pontos definidos pela mesma são analisados por espectroscopia de raios-X. Este método é certamente mais moroso, podendo ser definido apenas para áreas ou secções da amostra que revelem um processo de segmentação menos bem definido, nas quais as diferenças de ERD sejam muito ténues e a diferenciação de fases seja mais difícil (Fandrich *et al.*, 2007; Sylvester, 2012).

#### 4.2.4. Métodos e técnicas analíticas utilizadas em química de rocha total

A determinação dos parâmetros geoquímicos dos diversos litótipos selecionados, num total de 30 amostras, referenciados de E1 a E30 (Tabelas 7.1 e 7.2; Capítulo 7), foi realizada pela ALS Minerals no seu laboratório de Sevilha. A ALS Minerals foi responsável pelas etapas de preparação da amostra, nomeadamente a trituração, a pulverização (em moinho de ágata) e a fraccionação das amostras enviadas. Estas respeitaram largamente a gama de peso mínimo solicitado pela empresa, tendo sido enviadas com cerca de 80 a 100 g.

No que concerne aos objetivos analíticos propriamente ditos, foi solicitado à ALS Minerals um conjunto de pacotes analíticos que se ajustasse a uma caracterização de litótipos vulcânicos félsicos i) não mineralizados; ii) variavelmente mineralizados, no caso concreto de mineralizações fissurais (*stockwork*); e de minério de sulfuretos maciços polimetálicos.

Analisados os métodos disponibilizados pelo laboratório em questão, optou-se pela execução de três pacotes analíticos, identificados por um código próprio, cuja gama de elementos analisados, bem como os limites de deteção associados, permitiram uma análise elementar ideal para os objetivos do estudo apresentado (Capítulo 7). O pacote analítico CCP-PKG01 foi escolhido por combinar um conjunto de métodos, englobados em pacotes mais específicos, que permitiram a análise da maioria dos elementos pretendidos. Assim, os elementos maiores foram determinados por ICP-AES (*Induced coupled plasma atomic emission spectroscopy*), com um limite de deteção de 0,01%, através de um pacote analítico de rocha total (ME-ICP06), tendo o carbono e o enxofre sido determinados por um analisador LECO após processo de combustão, com limites de deteção mínimo e máximo a variarem entre 0,01% e 50%. Para um extenso conjunto de elementos menores e traço, nos quais se incluem os elementos de terras raras (ver anexo V), procedeu-se a uma fusão com borato de lítio e análise por ICP-MS (*Induced coupled plasma mass spectrometry*), e, no caso concreto, das amostras portadoras de metais básicos foi realizada uma fusão por quatro ácidos com determinação analítica através de ICP-AES. Alguns elementos traço frequentemente associados ao ouro foram analisados por ICP-MS após digestão por *aqua regia* (mistura de ácido nítrico com ácido clorídrico).

No caso concreto de amostras cujos teores de Cu, Zn e Pb fossem superiores a 1%, foi ativado automaticamente um método analítico complementar (ME-OG62+In+Ge) que permitiu a deteção dos elementos em questão para concentrações mais elevadas, nomeadamente até 40% (Cu), 30% (Zn) e

20% (Pb). Este método consistiu na fusão da amostra por quatro ácidos (nítrico, perclórico, fluorídrico e clorídrico) e uma análise realizada por ICP-AES / AAS (*Atomic absorption spectroscopy*). Adicionalmente aos metais básicos anteriormente indicados foi solicitada através deste método, a análise de mais dois elementos, o índio (In) e o germânio (Ge).

A concentração em ouro das 30 amostras foi determinada por um método específico para este elemento (Au-AA23), através de um processo de ensaio ao fogo de 30 g de amostra e posterior análise por AAS. O método em questão apresenta limites de detecção entre 0.005 e 10 ppm para o ouro, quando considerado apenas como elemento traço.

O conjunto de métodos analíticos e respectivos limites de detecção associados a cada um dos elementos analisados, encontram-se especificados no Anexo V (tabelas 11.53 e 11.54).

## **5. Padrão e zonalidade da alteração hidrotermal e mineralização na massa de Estação: caracterização mineralógica e textural**

---

### **5.1. Introdução**

O estudo petrográfico dos litótipos amostrados do CVS contribuiu para um refinamento e complemento à microescala da caracterização realizada por inspeção macroscópica dos diferentes tipos de rocha intersetados pelas várias sondagens selecionadas. A escolha criteriosa das amostras destinadas à produção das lâminas polidas estudadas teve, simultaneamente, em consideração a necessidade de se constituir uma base de trabalho para métodos analíticos realizados em fases posteriores do estudo, designadamente no que respeita à química mineral e à química de rocha total.

O predomínio de amostras de rochas vulcânicas félsicas no conjunto de lâminas polidas observadas decorre naturalmente de estas constituírem os litótipos portadores dos sulfuretos maciços em Aljustrel, evidenciando por isso uma estreita relação com os processos metalogenéticos que levaram à formação do jazigo. Estas relações ficaram expressas nas paragénese de alteração hidrotermal e relações texturais observadas ao microscópio, quer em luz transmitida, quer em luz refletida, permitindo pôr em evidência os padrões de alteração e sua zonalidade, tal como se associam aos processos hidrotermais mineralizantes.

### **5.2. Vulcanologia física e características primárias das rochas vulcânicas félsicas hospedeiras da mineralização**

Apesar de se mostrarem variavelmente alteradas, tal como é característico desta tipologia de depósitos, muitas amostras constituem também uma janela, macro e microscópica, para a caracterização de texturas e mineralogias primárias remanescentes, cujo enquadramento em associações de fácies permite importantes ilações quer ao nível do tipo de vulcanismo, quer quanto aos seus ambientes vulcano-sedimentares de deposição. Esta reconstituição das características primárias das rochas, muitas vezes obscurecida ou mesmo tornada impossível pela forte alteração sofrida, é sempre importante para uma correta avaliação tanto das assinaturas herdadas do vulcanismo, como dos processos metassomáticos que as mesmas sofreram ao longo do tempo.

No capítulo 3 foi possível, através da observação das vários litótipos félsicos menos alterados, a teto e a muro dos níveis mineralizados, caracterizar as rochas vulcânicas pertencentes à unidade designada como “Tufos da Mina” como correspondendo a fácies do tipo brecha com abundante *fiamme* e fragmentos de fenocristais (*fiamme-rich volcanic breccia*; cf. Rosa *et al.*, 2010). A observação microscópica desta brecha vulcânica possibilitou complementar a informação adquirida anteriormente, permitindo identificar a presença de cristais e/ou fragmentos de cristais de feldspatos ígneos, nomeadamente plagioclases – através de maclas de Albite (Fig. 5.1H) – cujas dimensões variam entre os 0,5 e os 2 mm. Estas plagioclases apresentam hábito subeuédrico a euédrico, ainda que fortemente alteradas. Na maioria dos casos apenas se torna possível distinguir os contornos de relíquias preenchidas por cristais de sericite (como resultado de processo de hidrólise), quartzo e carbonatos. Alguns feldspatos de contornos bem definidos, evidenciando maclas de *Carlsbad* (mas também de Albite) e relativamente pouco alterados, foram observados a muro da terminação da lenticula de minério maciço (sondagem ES12001), o que constitui uma perspetiva mais aproximada das características originais dos mesmos. As plagioclases de composição sódica parecem predominantes, dada a frequência com que

exibem maclas de *Carlsbad*, não sendo provável a presença de feldspatos com outras composições, designadamente a ortose.

Outro dos elementos texturais primários mais frequentes neste tipo de rocha vulcanoclástica, são os abundantes clastos de pomito achatados por compactação (possível *fiamme*), já caracterizados macroscopicamente no capítulo 3. Estas estruturas são bem discerníveis à escala da amostra de mão (Fig. 5.1G), mas, em lâmina polida, nem sempre a sua identificação é evidente. Uma vez alteradas para sericite, a sua discriminação relativamente à sericitização - mais ou menos intensa - da matriz, torna-se por vezes complicada.

A matriz das rochas félsicas apresenta uma granularidade muito fina na qual abundam quartzo e algum feldspato microcristalinos, incorporados numa massa de material felsítico, criptocristalino, que foi sendo gradualmente alterada para clorite e sericite (Fig. 5.1 E e 5.1 F) através de processos de alteração decorrentes da circulação de fluidos que afetou estas rochas de forma vincada e multifásica.

### **5.3. Petrografia da alteração hidrotermal – mineralização**

As rochas vulcânicas félsicas intersectadas pelas sondagens estudadas e acima descritas do ponto de vista das suas características primárias, encontram-se variavelmente afetadas por alteração hidrotermal associada aos episódios mineralizantes.

O padrão de alteração hidrotermal e mineralização observado nestas rochas permitiu a diferenciação de um conjunto de fácies abaixo descritas. A sua distribuição espacial permitiu pôr em evidência uma zonalidade de alteração hidrotermal que é, não só bastante característica deste tipo de sistema mineralizante, como é consistente com a já observada e estudada em Aljustrel (*e.g.* Feitais e Gavião; Barriga, 1983; Relvas, 1991).

#### **5.3.1. Alteração clorítica (Tipo 1)**

Este tipo de alteração está associado às zonas nucleares do sistema hidrotermal e corresponde à rede anastomosada de condutas de alimentação de todo o sistema mineralizante. Esta rede define o designado *stockwork*, já caracterizado em capítulos anteriores. A alteração do tipo 1 abrange sobretudo os domínios centrais ou internos deste *stockwork*.

A alteração hidrotermal mineralizante evidenciada pelas rochas félsicas nesta zona revela-se intensa, consistindo sobretudo numa forte cloritização, sulfuretização e silicificação, que se associa ao paroxismo (pico) da atividade hidrotermal no sistema, e que denuncia condições termoquímicas que permitiram a ascensão focalizada de fluidos quentes e modificados quimicamente, ricos em sílica e de abundante teor metalífero, e com carácter ácido e redutor.

Petrograficamente observam-se texturas de alteração características de processos de cloritização, silicificação e sulfuretização – acompanhados de sericitização incipiente e alguma carbonatização – que obliteraram quase por completo a mineralogia primária pré-existente. Neste sentido, a alteração hidrotermal mineralizante observada ao microscópio, consubstancia e reforça as observações realizadas em amostra de mão, evidenciando uma paragénese na qual a associação clorite + quartzo + sulfuretos + carbonatos ± sericite domina de forma clara.

Os veios hidrotermais constituem um dos aspetos texturais mais relevantes deste tipo de alteração. Na sua maioria, estes veios são preenchidos pela mesma associação mineralógica secundária, ainda que, frequentemente, os carbonatos (sin-metalogenéticos) possam predominar relativamente ao quartzo no seio dos veios (Fig. 5.2A; 5.2E; 5.2F). Ainda que estes carbonatos se relacionem de forma clara com a mineralização, as relações texturais que estabelecem no interior dos veios (reabrindo-os e ocupando a sua zona central) ou no seio da matriz (onde substituem os filossilicatos hidrotermais mais



precoces), indiciam que a sua precipitação corresponda a um estágio tardio da atividade hidrotermal mineralizante.

Texturalmente, e como seria de esperar, destacam-se as zonas de intensa cloritização do protólito vulcânico, na dependência direta dos veios mineralizados. Nestes domínios totalmente cloritizados da matriz ocorre uma distribuição frequentemente pervasiva de massas cloríticas, de forte penetratividade e continuidade textural (Fig. 5.2C; 5.2E; 5.2F).

Estas massas cloríticas transitam de forma mais ou menos abrupta para zonas de rocha encaixante menos alterada onde é possível identificar, no entanto, um enriquecimento relativo em quartzo, expresso por agregados policristalinos de quartzo hidrotermal e/ou por frequente coalescência de quartzo microcristalino matricial que tendem a aumentar a granularidade do mesmo (Fig. 5.2D). Estes aspetos texturais relativos ao quartzo são igualmente visíveis em zonas de alteração mais periféricas ou distais. Nos interstícios desta matriz rica em quartzo, a cloritização – e alguma sericitização muito fina e incipiente – decorrente dos processos metalogenéticos, revela-se igualmente dominante mascarando não apenas as características texturais da rocha vulcanoclástica original, como também os efeitos associados à alteração hidrotermal precoce de caráter regional.

Ainda que a cloritização seja dominante e definidora deste tipo de alteração, associada, como referido, ao pico de alteração hidrotermal mineralizante, o percurso retrógrado do sistema materializa-se ao longo do tempo pela substituição das massas cloríticas, por sericite e, mais tarde, por carbonato (Fig. 5.2B; 5.2H). Estas circunstâncias decorrem da normal e inevitável evolução do sistema, com o seu “colapso” termoquímico a encontrar expressão na substituição das zonas centrais do sistema pelas associações secundárias que anteriormente ocupavam apenas as suas zonas mais periféricas.

A paragénese sulfuretada é dominada pela pirite, à qual se associa a calcopirite em menores proporções. Acessoriamente ocorrem ainda, com abundâncias progressivamente decrescentes, a esfalerite, a arsenopirite, a galena e a tenantite-tetraedrite (Fig. 5.3). Por vezes a calcopirite pode dominar a mineralogia sulfuretada, em veios, substituindo a pirite de forma extensa (Fig. 5.3D, G).

A pirite ocorre finamente disseminada no seio de clorite maciça, na matriz, ou de forma mais grosseira, associada a quartzo, clorite, e carbonatos, em veios. Raras são as texturas de deposição primária exibidas por este mineral. De um modo geral, a pirite e todas as fases minerais presentes encontram-se recristalizadas por processos decorrentes do tectono-metamorfismo.

Estes processos, na sua fase mais tardia, induziram ainda o cataclasamento e cominuição da pirite – comportamento frágil – bem expresso pela sua distribuição ao longo de planos de xistosidade. Em contraponto, as fases minerais de comportamento mais dúctil perante a deformação tectónica, nomeadamente a calcopirite, a esfalerite e a galena, exibem texturas de remobilização condicionadas por planos de cisalhamento e englobadas por filossilicatos como a clorite. Decorrente ainda dos efeitos da deformação a que estas rochas foram sujeitas, é possível a observação recorrente de sombras de pressão associadas a cristais de sulfuretos (e.g. pirite) preenchidas quase sempre por cristais estirados de quartzo e clorite (Fig. 5.2B; 5.2G). Nesta situação em concreto a clorite apresenta uma marcada recristalização, com cristais bem desenvolvidos que exibem por vezes extinção ondulante. A figura 5.3 realça aspetos texturais e paragenéticos característicos e representativos do minério fissural associado à zona de alteração clorítica.

Em aparente contradição com as relações primárias de abundância relativa habituais neste tipo de jazigos, em que a proporção de calcopirite tipicamente aumenta no *stockwork* com a proximidade à base do minério maciço, o estudo das associações sulfuretadas ao longo das sondagens ES13001 e ES13002, que intersectam espessas secções do *stockwork* da massa de Estação, evidencia um claro incremento em profundidade da proporção relativa de calcopirite e, portanto, do teor em cobre, tal como se pôs em evidência na figura 11.1 (Anexo III), construída com base na avaliação qualitativa das proporções relativas dos sulfuretos principais observados em cada amostra. A aparente inversão das relações primárias de abundância relativa envolvendo os sulfuretos de cobre – sobretudo a calcopirite –

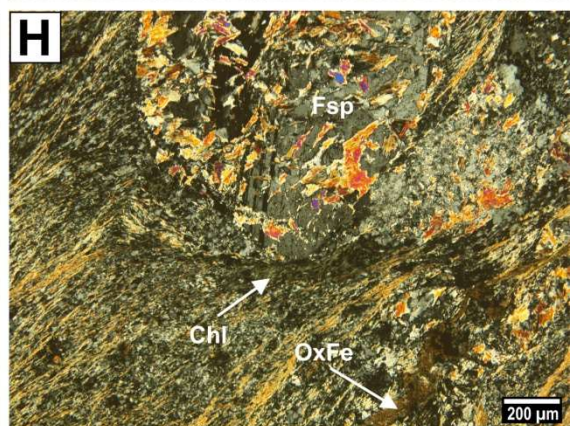
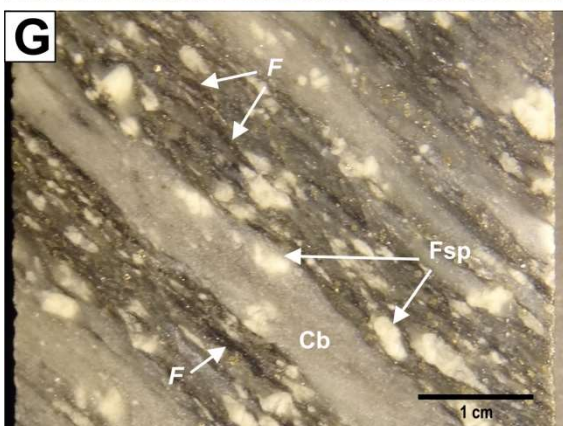
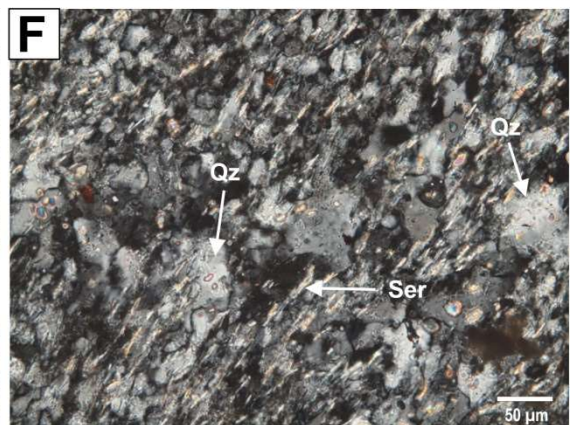
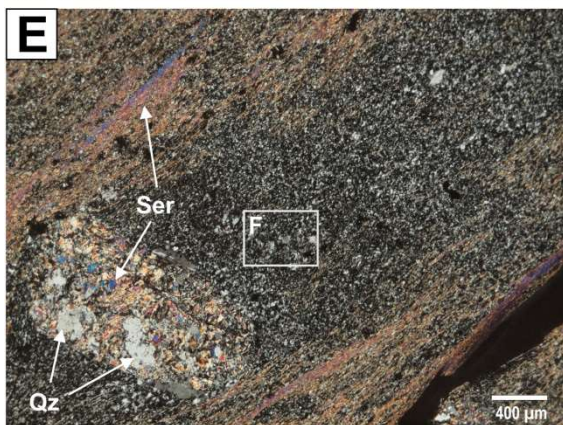
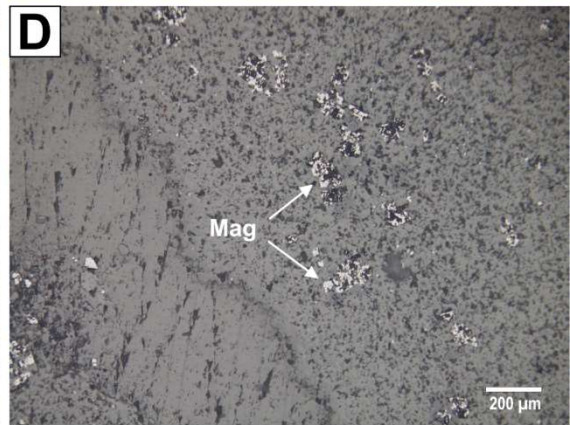
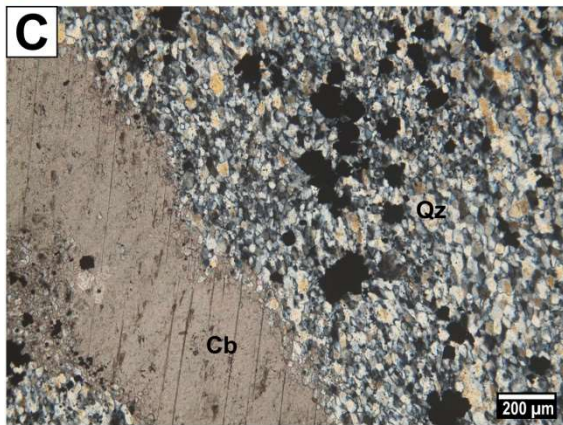
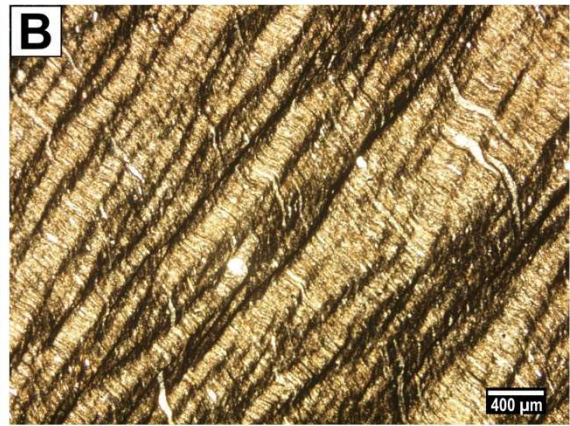
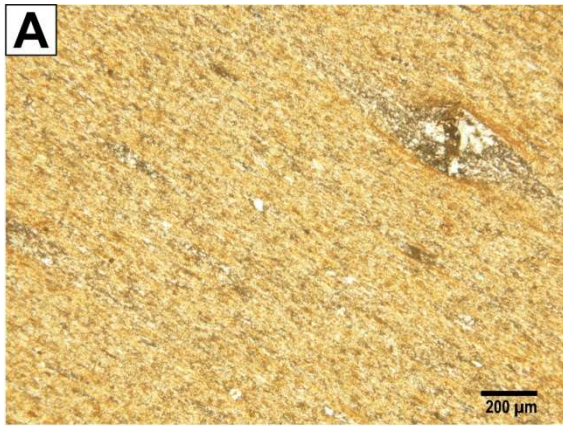
foi interpretada como refletindo secundariamente um perfil de aproximação a uma importante falha/corredor estrutural, responsável por intensa remobilização preferencial da calcopirite e inerente enriquecimento tectono-metamórfico em cobre. Evidências texturais ilustrando a tendência para o incremento da calcopirite na dependência de processos de remobilização tectônica, com substituição de pirite e outros sulfuretos mais precoces, podem ser observadas nas fotos C e G da figura 5.3.

---

**Figura 5.1 (Página seguinte) - A-D - Fotomicrografias de lâminas polidas representativas de sedimentos vulcanogênicos e siliciosos da Fm. do Paraíso. A – Sedimentos finos esverdeados (Amostra ES13002-4):** rocha com textura fina e foliação muito penetrativa. Predomínio de filossilicatos (sericite) e grãos de quartzo intersticiais microcristalinos. Presença de figuras sigmoidais com caudas bem marcadas na dependência de um agregado policristalino de quartzo (canto superior direito) [Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 10X]; **B – Sedimentos finos negros (Amostra ES13002-3):** rocha com textura muito fina, micro a criptocristalina, extremamente penetrativa, onde se observa estiramento – segundo S1 – e posterior dobramento – segundo a clivagem de crenulação (S2) - de elementos maiores presentes na matriz, nomeadamente carbonatos [Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 10X]; **C e D – Sedimentos siliciosos quimiogênicos (Amostra ES13002-7):** rocha com textura fina e equigranular, composta essencialmente por quartzo de origem hidrotermal no qual se disseminam de forma regular frequentes cristais ou agregados cristalinos de magnetite (Mag), resultantes da redução química da hematite. A rocha é cortada por um veio tardio de carbonato (Cb) no canto inferior esquerdo [C - Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 10X; D - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 10X]; **E e F – Tufo da Mina (Amostra 13002-8):** cristal de feldspato fortemente silicificado (Qz) e sericitizado (Ser) no seio de uma matriz finamente desvitrificada, constituída essencialmente por microcristais de quartzo. Esta matriz fina encontra-se relativamente bem preservada da alteração mineralizante em domínios de sombra de deformação, nos quais se verifica, em maior ampliação (F), uma sericitização incipiente que se intensifica progressivamente para zonas mais afastadas e coincidentes com planos de cisalhamento (C) [E - Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X; F - Luz transmitida; nicóis paralelos; Ampliação: 40X]. **G – Tufo da Mina (Amostra 13001-8):** pormenor de amostra de mão já representada anteriormente (Fig 3.3), onde se destacam as estruturas pomíticas achatadas (possível fiamme), bem como relíquias de feldspato distribuídas numa matriz sericitizada e onde lenticulas de carbonatos metalogenéticos se sobrepõem e obliteram a textura pré-existente. **H – Tufo da Mina (Amostra 13002-8):** relíquia de feldspato (Fsp), sericitizado, onde ainda é possível distinguir maclas de Albite (bordo inferior do cristal). Cloritização (Chl) e sericitização da matriz são igualmente visíveis, bem como alinhamentos de óxidos de ferro (OxFe) no canto inferior direito da imagem [Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 10X]. Abreviaturas segundo Whitney & Evans (2010), a que se adicionaram as abreviaturas de Óxidos de Ferro (OxFe) e de Fiamme (F).

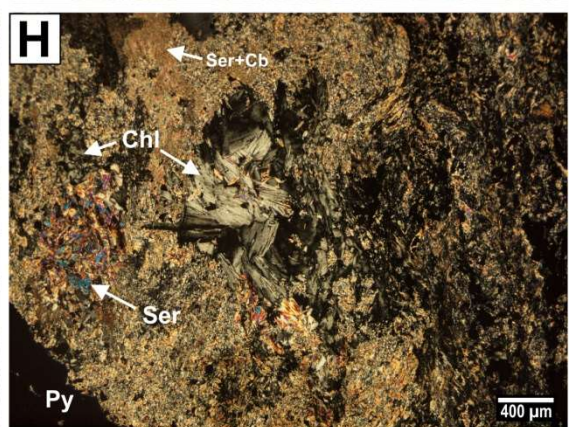
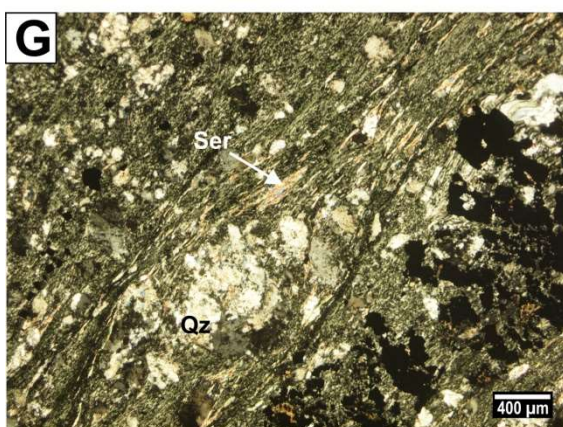
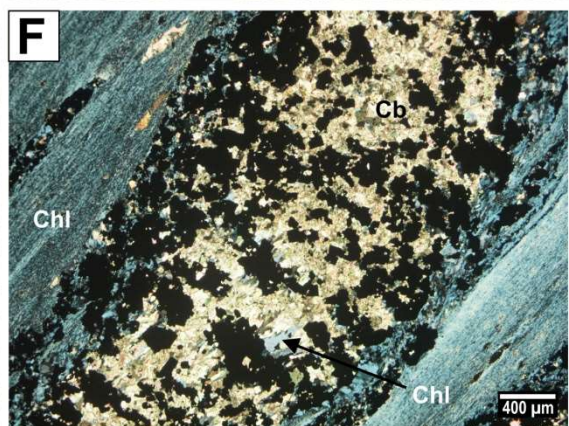
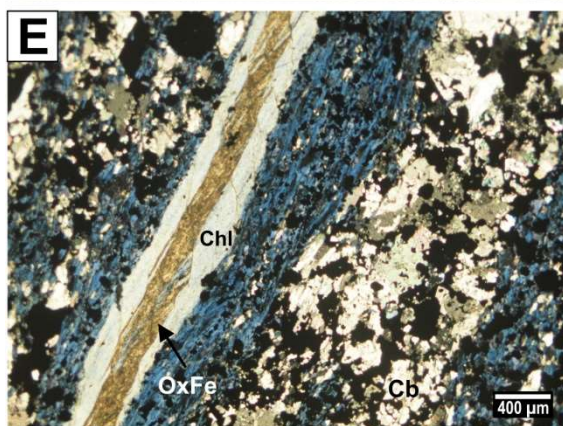
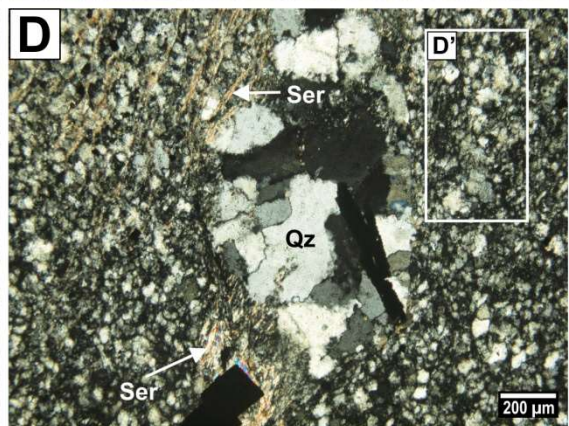
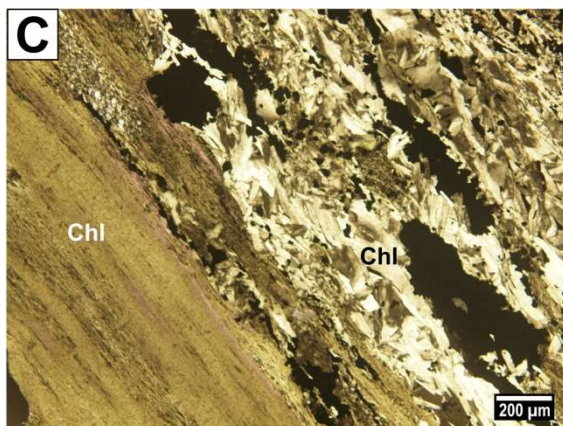
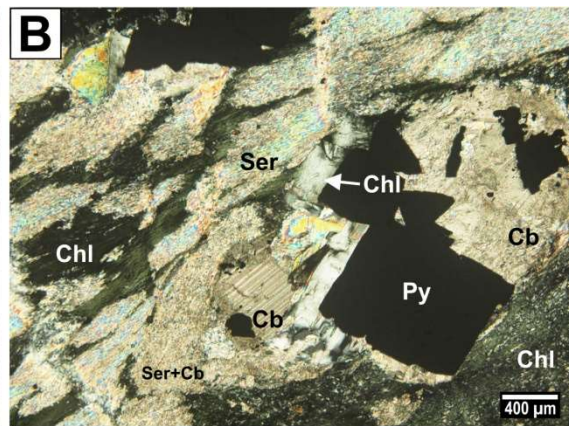
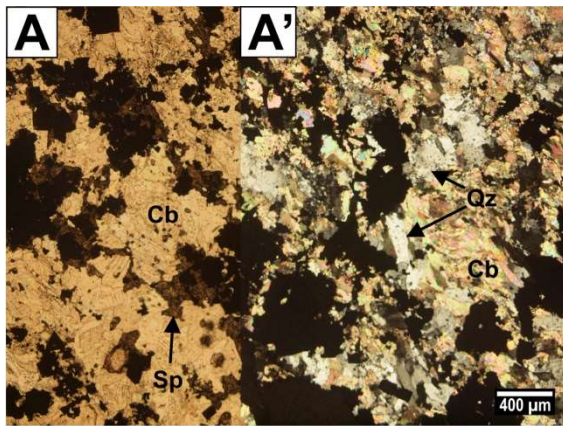
---





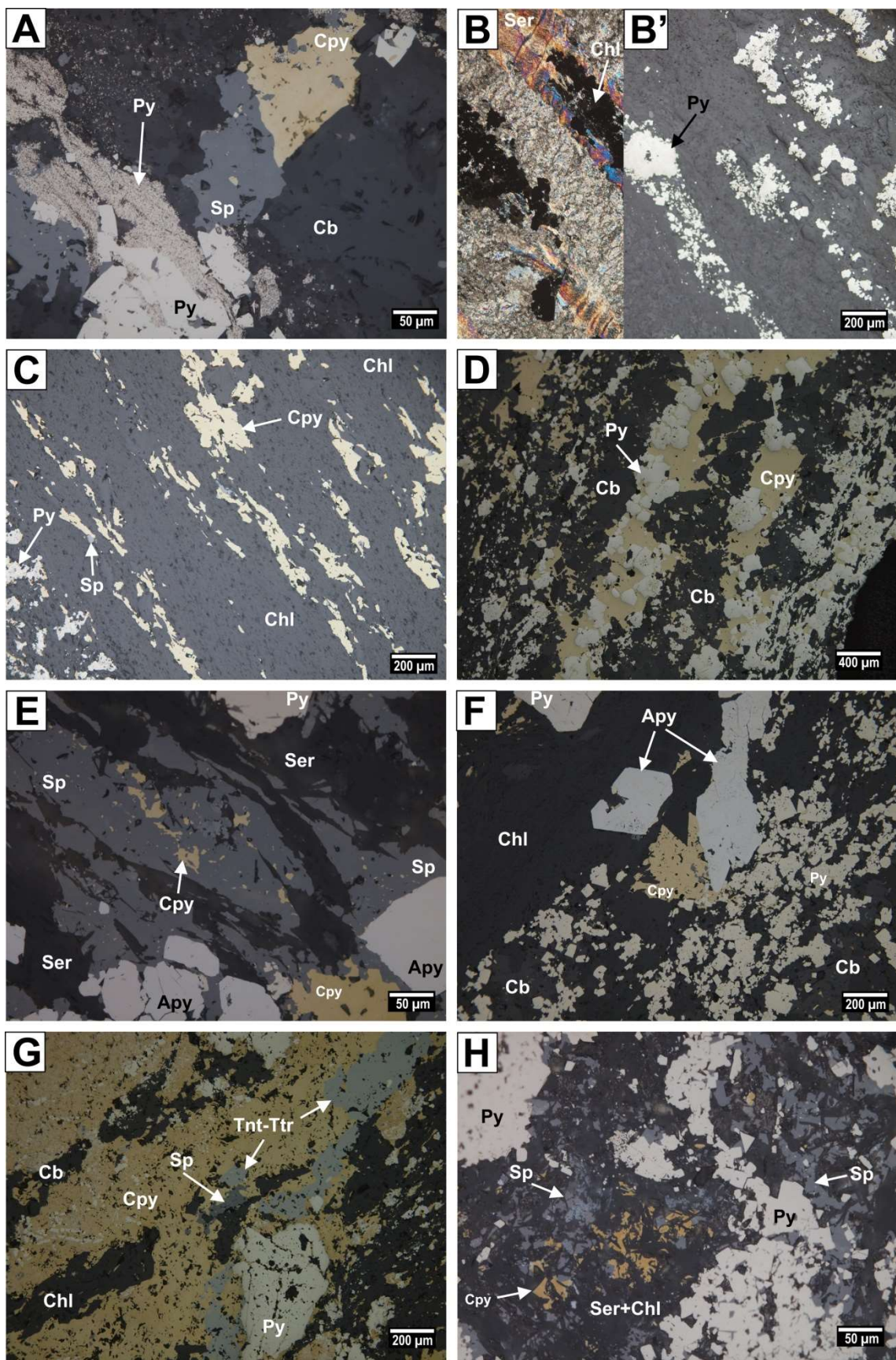
**Figura 5.2 (Página seguinte)** – Fotomicrografias de lâminas polidas representativas de rochas vulcânicas (Tufo da Mina) variavelmente afetadas pela alteração hidrotermal mineralizante do tipo 1. **A e A'** – **Amostra 13001-19**: Zona interior de um veio mineralizado onde predominam carbonato + quartzo + sulfuretos. Os domínios translúcidos de esfalerite (Sp) são observáveis em luz transmitida na secção esquerda (A) da fotomicrografia. Este veio recorta uma amostra de rocha cloritizada e afetada por alteração carbonatada sobreposta [A - Luz transmitida; nicóis paralelos; Ampliação: 5X; A' - Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X]; **B** – **Amostra 13001-22**: rocha vulcânica fortemente cloritizada na qual se observa sobreposição por uma intensa alteração sericitica e carbonatada das massas cloríticas pré-existentes. Verifica-se ainda, na dependência dos cristais de sulfuretos presentes, a ocupação de sombras de pressão por cristais de clorite (cinza claro e extinção ondulante), sericite e carbonatos recristalizados (zona central e canto superior esquerdo) [B – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X]; **C** – **Amostra 13001-37**: Cloritito. Contraste textural entre a massa clorítica e um domínio de clorite (recristalizada) + sulfuretos associado a uma possível zona de remobilização de sulfuretos [C – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 10X]; **D** – **Amostra 13002-37**: rocha vulcânica dominada pela paragênese quartzo + clorite + sulfuretos na qual se põe em evidência um domínio silicificado, exterior aos corredores cloríticos, na qual se observam venulações incipientes de sericite. Nesta zona diferencia-se um veio de quartzo (hidrotermal) com cristais bem desenvolvidos, extinção uniforme e de contornos bem definidos. Em redor daquele veio observam-se coalecimentos (D') de grãos de quartzo matricial pré-existente, de menores dimensões, cujos bordos se apresentam geralmente mais difusos [D – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 10X]; **E** – **Amostra 13002-41**: rocha fortemente mineralizada e de textura penetrativa, evidenciando clara transposição tectónica, na qual predomina a paragênese clorite + carbonatos + sulfuretos. O fabric tectónico é vincado pelas clorites maciças (tintas azuis claras), que por sua vez acomodam frequentes intercrescimentos de óxidos de ferro em alinhamentos sub-paralelos, normalmente descontínuos. A transição para zonas de circulação de fluidos, que é expressa pela associação entre os carbonatos e os sulfuretos, é vincada pela recristalização da clorite que exhibe naquela zona tonalidades mais escuras. [E – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X]; **F** – **Amostra 13002-46**: Cloritito muito mineralizado e de forte penetratividade textural. Evidencia-se a relação de corte entre as massas cloríticas e os veios mineralizados, constituídos essencialmente por carbonatos + sulfuretos ± clorite (recristalizada). [F – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X]; **G** – **Amostra 13002-58**: rocha vulcânica cloritizada de menor penetratividade textural e transposição tectónica dos seus elementos mineralógicos relativamente às amostras anteriores. Matriz clorítica com vincada silicificação, bem como sericitização incipiente sob forma de lenticulas finas a contornar elementos maiores (ex: agregado de quartzo coalescido). Presença de banda de sulfuretos (raros) na qual se observa o preenchimento por clorite e quartzo, de sombras de pressão adjacentes a cristal de pirite (canto superior direito) [G – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X]; **H** – **12001-29**: Cunha vulcânica localizada entre o minério maciço e zonas mais periféricas de stockwork. Zona de veio mineralizado, dominado por clorite + quartzo + sulfuretos, mas onde a sericitização e carbonatização se tornam cada vez mais proeminentes [H – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X].







**Figura 5.3 (Página seguinte)** – Fotomicrografias de lâminas polidas representativas de rochas vulcânicas (Tufo da Mina) variavelmente afetadas por alteração hidrotermal mineralizante do tipo 1. **A** – **Amostra 13001-19**: mineralização sulfuretada presente na amostra representada nas fotos 5.2. **A** e **A'**. Predomínio da paragénese constituída por pirite ± esfalerite ± calcopirite, no seio de uma matriz de carbonatos em plena zona de veios mineralizados. Destaque nesta fotomicrografia para a substituição da esfalerite pela calcopirite no centro da imagem. Do lado esquerdo observam-se pontuações de calcopirite de diversas dimensões (“doença da calcopirite”) enquanto do lado direito a substituição quase completa pela calcopirite apenas permite vislumbrar “ilhas” remanescentes de esfalerite. Quando incompletamente recristalizada, a pirite apresenta uma textura muito fina e de aspeto picotado [**A** - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 40X]; **B** e **B'** – **Amostra 13001-21**: rocha fortemente deformada e dominada por pirite recristalizada. A deformação é bem vinculada ao longo de corredores de cisalhamento pelo cataclasamento e cominuição da pirite (**B'**), bem como pela presença de bandas grosseiras e penetrativas de sericite que exibem proeminentes planos **S1** e **S2** (**B**). Os interstícios entre os cristais de pirite são preenchidos por clorite [**B** - Luz refletida; nicóis cruzados; Ampliação: 10X; **B'** - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 10X]; **C** – **Amostra 13001-28**: Cloritito com forte penetratividade textural. Observa-se nesta imagem uma vinculada remobilização dúctil da calcopirite (± esfalerite), associada a planos de cisalhamento. Em contraste com o observado, a pirite – canto inferior esquerdo – apresenta um comportamento mais refratário face à deformação [**C** - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 10X]; **D** – **Amostra 13002-41**: Corredor de circulação de fluidos, preenchido pela paragénese calcopirite + pirite ± esfalerite + carbonatos, relativo a amostra já representada na foto 5.2E. Exemplo de textura de substituição. Observa-se aqui uma intensa substituição de pirite por calcopirite (zone refining) [**D** - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 5X]; **E** – **Amostra 13002-45**: zona de corredor de cisalhamento onde se destaca a concentração de minerais opacos de comportamento dúctil, no caso concreto a esfalerite, visivelmente afetada pela “doença da calcopirite”. A pirite e a arsenopirite (**Apy**) surgem igualmente nesta zona, ainda que exibam comportamentos mais frágeis; a deformação que é igualmente marcada por bandas laterais de sericite grosseira [**E** - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 40X]; **F** – **Amostra 13002-46**: cloritito representado na figura 5.2 F. Rocha dominada por uma paragénese sulfuretada constituída por pirite ± arsenopirite + calcopirite + esfalerite. A pirite e calcopirite visíveis concentram-se em veios dominados pela presença de carbonatos. Destaca-se nesta lâmina polida, a presença de quantidades apreciáveis de arsenopirite, na sua maioria na dependência de planos **C** e quase sempre associada à pirite. Os cristais de arsenopirite exibem frequentemente hábito euédrico (subsecções losangulares) e faces bem desenvolvidas, devido à sua forte energia de cristalização. [**F** - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 10X]; **G** – **Amostra 13002-55**: Cloritito fortemente mineralizado. A piritização precoce dos silicatos é mascarada pela substituição pervasiva da pirite pela calcopirite e consequente enriquecimento em cobre. Esta substituição pode ser potenciada pela fracturação de alguns cristais de pirite (em baixo, lado direito). Evidencia-se igualmente nesta imagem a associação entre a calcopirite, a esfalerite e a tenantite-tetraedrite (**Tnt-Trt**), este último ocorrendo em quantidades apreciáveis na lâmina polida em questão [**G** - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 10X]; **H** – **Amostra 12001-29**: zona de veio mineralizado. Textura bandada e fortemente deformada, com predomínio de uma paragénese sulfuretada constituída por pirite ± esfalerite ± calcopirite, englobada por uma matriz silicatada dominada por sericite e clorite. A calcopirite surge em quantidades muito reduzidas nesta amostra, acima de tudo e como a imagem evidencia, em estreita associação com a esfalerite em processo de substituição [**H** - Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 40X]. Abreviaturas das fases minerais segundo Whitney & Evans (2010).



### 5.3.2. Alteração sericítica proximal (Tipo 2)

A amostragem realizada a muro da massa de Estação, tendo sido limitada a sondagens realizadas em contextos bastante proximais relativamente ao eixo de alimentação do sistema mineralizante, implicou, como seria expectável, que a fácies de alteração sericítica ultraperiférica do tipo 3 não se fizesse representar nas amostras estudadas. Não obstante, essa tipologia de alteração, caracterizada por forte metassomatismo sódico, encontra-se representada na paragénese de alteração observada a teto da mineralização, circunstância que será descrita e interpretada mais adiante.

A alteração sericítica observada a muro da mineralização consiste assim, exclusivamente, em alteração do tipo 2 (que apelidamos de proximal, por oposição à alteração periférica de tipo 3). A subdivisão desta fácies de alteração hidrotermal em “tipo 2a” e “Tipo 2b” é fundamentalmente química (ver Cap. 6) e não petrográfica, pelo que, neste capítulo, nos limitaremos a representar esta zona de alteração como correspondendo a alteração do Tipo 2 (ver Figs. 5.6 a 5.8).

A alteração sericítica proximal no jazigo de Estação manifesta-se assim por sericitização e silicificação intensas das rochas, pela redução significativa da cloritização observada, ainda que muito presente na matriz, e pela diminuição da componente sulfuretada que se restringe quase exclusivamente a uma fase mineral, a pirite (Fig. 5.4B; 5.4C; 5.4G; 5.4G'). A mineralização associada a estas amostras é pois claramente subordinada relativamente às zonas mais internas do sistema, sendo dominada amplamente pela pirite e evidenciando ocorrências quase vestigiais de esfalerite e de calcopirite (Fig. 5.3H; 5.4E). Ocorrem igualmente e de forma frequente, carbonatos sob a forma de veios tardios.

Desta forma, a paragénese de alteração característica neste conjunto de amostras é constituída por sericite + quartzo  $\pm$  clorite + sulfuretos + carbonatos. Os feldspatos de origem primária são visíveis, ainda que fortemente alterados (sericitizados e/ou silicificados), como se verifica nas amostras da sondagem ES12001 (Fig. 5.4H), graças à diminuição de intensidade da alteração em níveis mais profundos e afastados do núcleo do sistema.

Texturalmente, verificam-se pequenas variações nas amostras observadas, decorrentes por um lado da intensidade relativa dos processos de sericitização e silicificação, e, por outro, do nível de deformação tectono-metamórfica, com consequências na transposição dos elementos mineralógicos e na penetratividade textural expressa pelos filossilicatos predominantes.

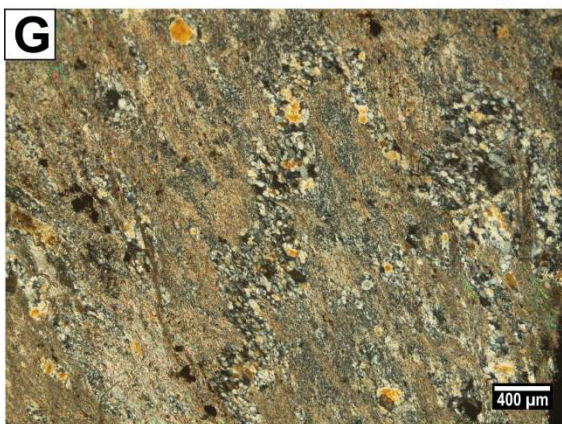
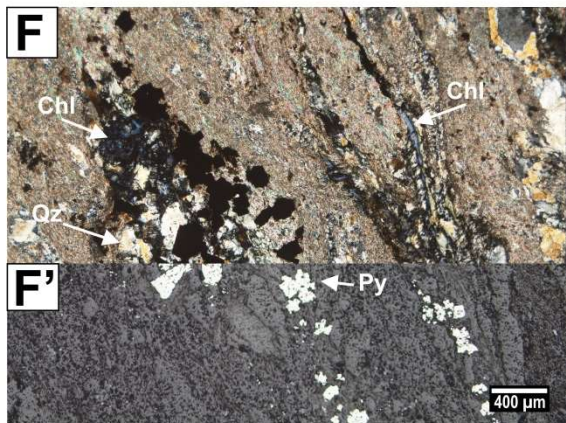
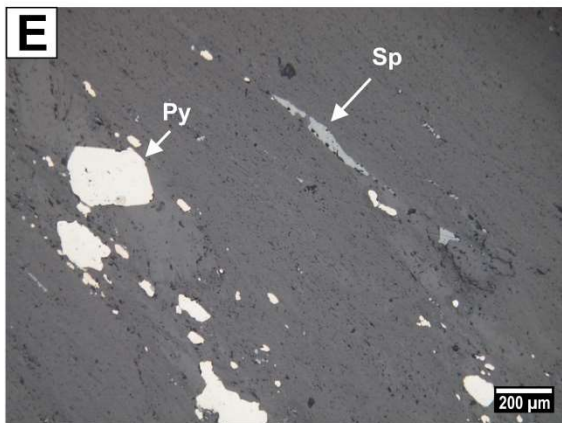
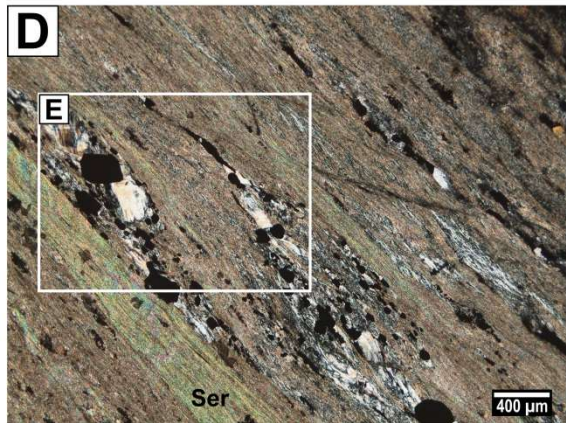
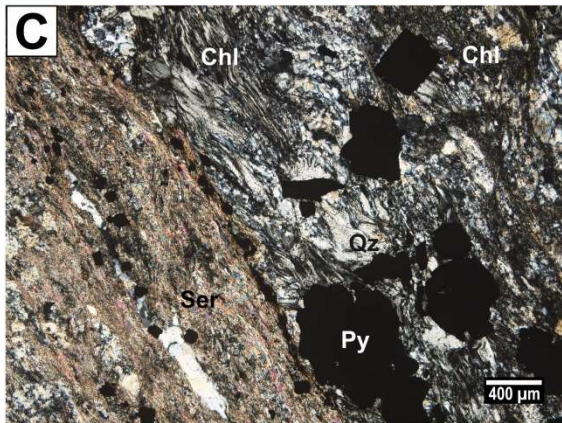
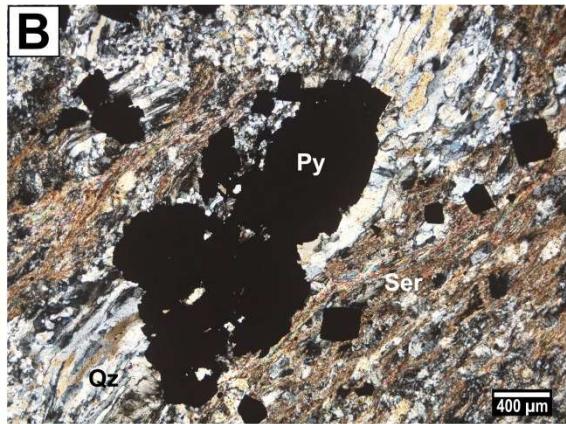
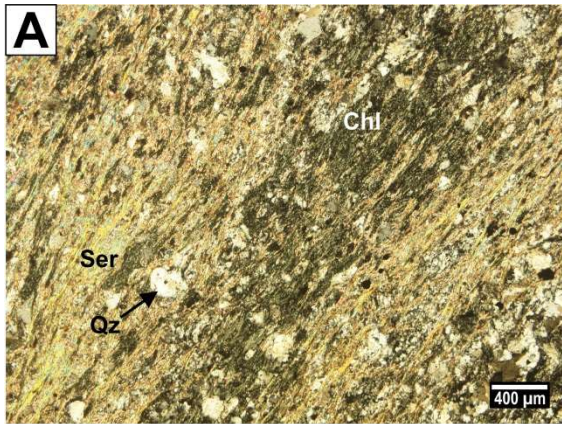
A sericite ocorre sob a forma de bandas mais grosseiras e bem desenvolvidas, de grande penetratividade, ou manifesta-se de forma fina - cripto a microcristalina - mas igualmente pervasiva, englobando os restantes elementos minerais, nomeadamente os agregados cristalinos ou veios de quartzo (ou carbonato), elementos felsíticos precoces e relíquias de feldspatos. A sericite e os carbonatos podem ocorrer em intercrescimentos muito finos na matriz. A silicificação observada está associada ao coalescimento de quartzo matricial e à pronunciada introdução de quartzo hidrotermal no sistema, bem visível quer ao nível da matriz, quer através dos veios que continuam a caracterizar e dominar estes litótipos.

Texturalmente, o afastamento ao eixo do sistema hidrotermal é globalmente marcado pelo carácter menos pervasivo da sericitização, a diminuição da sulfuretização da matriz e da densidade de veios mineralizados, o aumento progressivo da proporção de carbonatos e a redução da intensidade da silicificação. Ainda que fortemente sericitizados, o aumento da abundância relativa e do grau de preservação das relíquias de fenocristais de feldspatos tende a ser também um critério objetivo de afastamento ao núcleo do sistema mineralizante. De ressaltar, no entanto, que qualquer destes critérios pode ser, e é frequentemente, obscurecido pela deformação tectonometamórfica e seus efeitos em termos de remobilização diferencial e sobreposição textural.



**Figura 5.4 (Página seguinte)** - Fotomicrografias de lâminas polidas representativas de rochas vulcânicas fêlsicas (Tufo da Mina) variavelmente afetadas pela alteração hidrotermal mineralizante do tipo 2a. **A – Amostra 13002-61:** amostra proximal ao eixo de alteração clorítica. Verifica-se uma pronunciada sericitização e silicificação da rocha, sobreposta à cloritização mais expressiva e associada à circulação hidrotermal mineralizante [A – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **B – Amostra 13002-64:** Zona de veio mineralizado constituído por pirite e quartzo recristalizado e deformado (em fita), em associação com uma matriz muito sericitizada [B – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **C – Amostra 13002-67:** Veio mineralizado (à direita) constituído pela associação quartzo + pirite + clorite, recortando uma matriz quartzo-sericitica (à esquerda). A deformação é expressa pela recristalização dos elementos que preenchem o veio, no qual se observa o quartzo e a clorite estirados bem como o hábito cúbico da pirite bem definido por alguns cristais. [C – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **D – Amostra 13002-70:** rocha com sericitização intensa da matriz ainda que globalmente evidencie zonas – “ilhas” – intersticiais menos alteradas e precoces. A textura aqui exibida apresenta um fabric tectónico marcado pela orientação da sericite, na qual é possível destrinçar alinhamentos relativos a S2 – junto ao limite direito da foto E. Algumas venulações constituídas por quartzo + sulfuretos + clorites apresentam apertados dobramentos. Face a este incremento da deformação expresso pela penetratividade textural da sericite não é de excluir a aproximação a uma possível zona de falha [D – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **E – Amostra 13002-70:** Detalhe da imagem D. Destaca-se a mineralogia de opacos que ainda é possível observar na zona limite da sondagem. Ainda que o domínio relativo da pirite seja quase total, observam-se raras lenticulas de esfalerite no interior na matriz filossilicatada, decorrente da remobilização dúctil [E – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 100X]; **F e F’ – Amostra 12001-32:** rocha dominada por uma sericitização fina e extensa da matriz, na qual a alteração está ainda fortemente condicionada por veios hidrotermais, ora exclusivamente constituídos por quartzo, ora preenchidos pela associação quartzo, clorite e pirite. A sericite matricial pode, nesta rocha, ser acompanhada por uma fração carbonatada igualmente fina, e englobar (raras) relíquias de feldspato [F – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X; F’ – Luz refletida; nicóis cruzados; Ampliação: 5X]; **G – Amostra 12001-32:** Zona complementar da rocha descrita anteriormente (F e F’), na qual se destaca o dobramento ptigmático de um veio de quartzo, decorrente da deformação sobreposta [G – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **H – Amostra 12001-34:** rocha vulcânica de textura porfiritica, com vincada sericitização fina da matriz. Esta rocha exhibe, por isso, um importante acréscimo de relíquias de feldspato presentes, por vezes silicificados, e quase sempre enquadrados por bandas sericiticas e sombras de deformação. A silicificação, quer matricial, quer por instalação de veios de quartzo ante-deformação é visivelmente inferior relativamente a amostras (e.g. 12001-32) mais proximais. A sulfuretização é incipiente, com a distribuição pontual de diminutos cristais de pirite pela matriz [H – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X].







### 5.3.3. Alteração sericitica distal (Tipo 3)

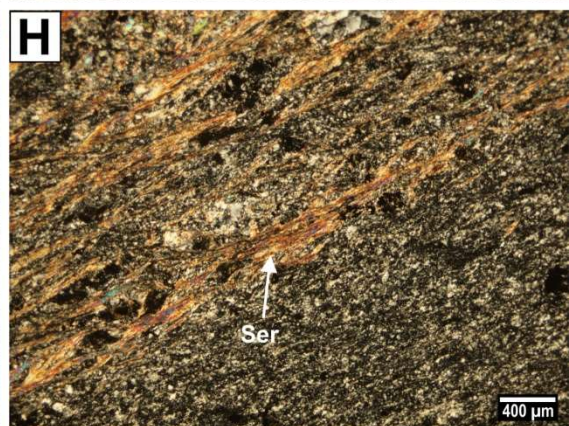
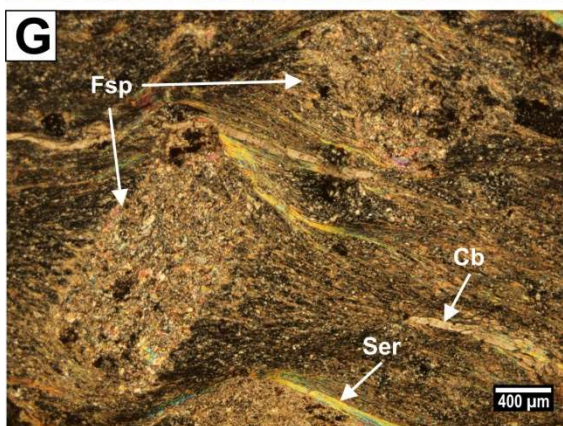
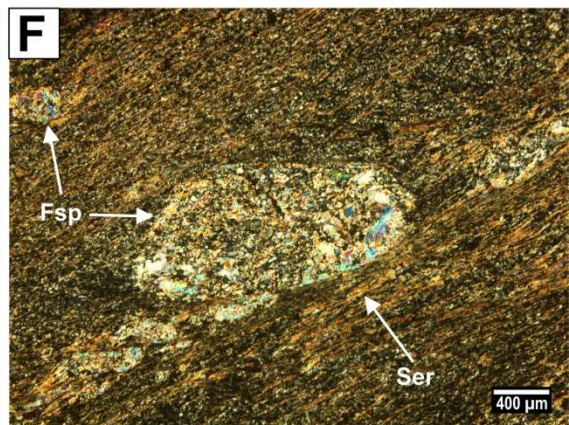
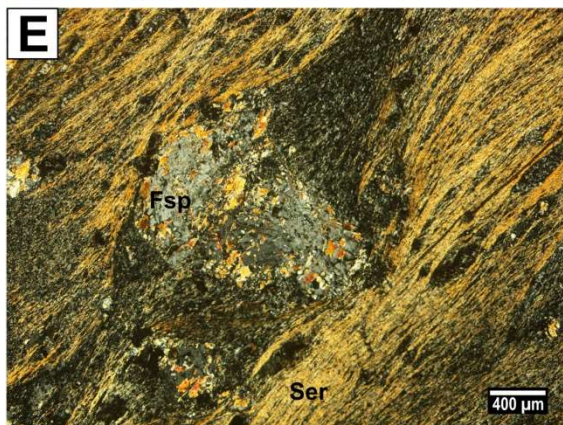
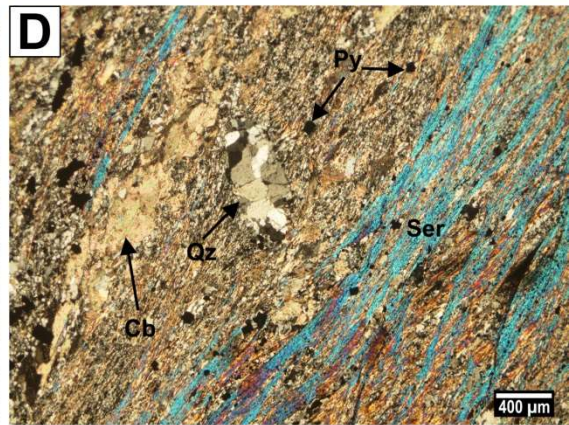
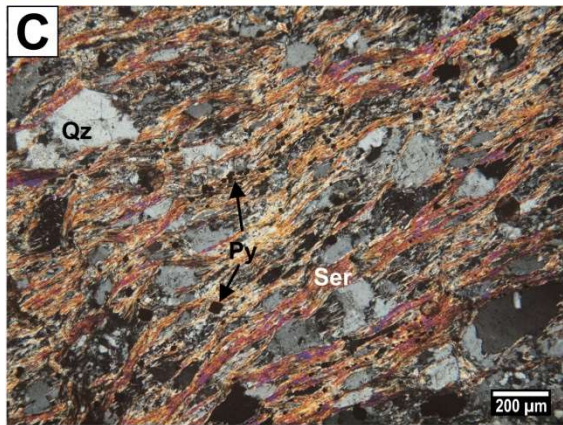
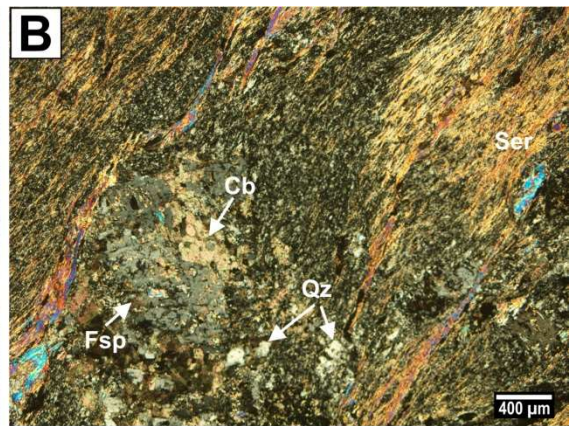
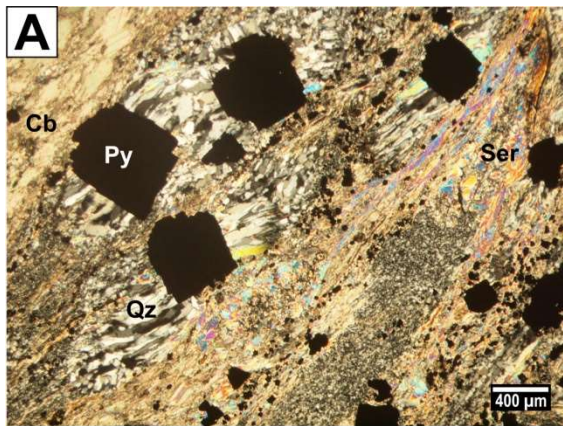
Uma fácies ultra-periférica de alteração subtil, caracterizada pela presença de sericites com elevada molécula paragonítica ou mesmo de paragonite foi, como referido anteriormente, identificada a teto da massa de Estação. Ainda que as texturas observadas possam, nalguns casos, sugerir um grau de alteração mineralizante mais intenso, condizente com uma zona mais proximal do sistema, nomeadamente uma alteração do tipo 2b, a química das sericites indicia que estamos perante uma zona de alteração mineralizante mais periférica (ver Cap. 6). No entanto, relativamente às suas congéneres a muro da mineralização, o tipo de alteração que se observa nestas amostras é, geralmente, menos controlado por veios e é dominado pela associação de sericite + quartzo + carbonatos + sulfuretos ± clorite.

Os níveis superiores das diversas sondagens apresentam texturas porfiríticas alteradas, dominadas por relíquias de feldspatos muito sericitizados (sericites que se verificou serem predominantemente sódicas), inseridos numa matriz fina, cripto a microcristalina de quartzo matricial e clorite precoce, esta formada durante a fase de alteração de carácter regional anteriormente referida a propósito da caracterização das características primárias das rochas encaixantes (Fig. 5.1 E, F, G, H). Além da sericitização exibida por estas relíquias de feldspatos, a alteração do tipo 3 manifesta-se por disseminação de sulfuretos, exclusivamente representados por pirite. Destaca-se também a presença de abundantes carbonatos associados à sericite sódica sob forma de espessas bandas que obliteram os restantes elementos da rocha.

Em profundidade verifica-se uma redução progressiva das relíquias de feldspato presentes na matriz (Fig. 5.5C, D) bem como dos carbonatos distribuídos profusamente pela rocha e que caracterizam os sectores mais afastados do sistema. Os sulfuretos disseminados pela matriz revelam uma granularidade mais fina, apresentam-se cominuídos e frequentemente alinhados segundo planos de cisalhamento à semelhança do que acontece com alguns carbonatos. A sericitização da matriz ocorre de forma gradualmente mais penetrativa e surgem níveis onde a silicificação domina claramente a paragénesis de alteração, em estreita associação com a sericite. Texturalmente verifica-se assim, em profundidade, uma variabilidade textural no pacote de rochas vulcânicas a teto da mineralização, desde os primeiros metros abaixo dos níveis siliciosos de jaspes até ao contacto inferior com a massa de minério maciço (e.g. Fig. 5.5 A, B, C, D). Esta variabilidade vertical poderia talvez resultar de diferentes graus de intensidade de alteração em domínios mais externos do sistema hidrotermal mineralizante. Contudo, ela é acompanhada por um incremento progressivo da deformação associada às diversas amostras em profundidade, expressa em termos texturais por rochas que exibem *fabrics* tectónicos gradualmente mais pronunciados. À semelhança do que foi observado em níveis inferiores do *stockwork* mineralizado e afetado por alteração do tipo 1, também aqui se verifica um padrão de aproximação a um provável acidente tectónico à medida que nos aproximamos do contacto de teto da massa de minério maciço.

**Figura 5.5 (Página seguinte)** – Fotomicrografias de lâminas polidas representativas de rochas vulcânicas félsicas (Tufo da Mina) variavelmente afetadas pela alteração hidrotermal mineralizante do tipo 3. **A – Amostra 13001-8:** rocha porfíritica bastante sericitizada constituída por feldspatos muito alterados e com uma vincada carbonatização sobreposta (representada macroscopicamente na figura 5.1 G). A imagem permite a visualização de uma zona particularmente alterada na qual predominam cristais de pirite disseminados numa matriz muito sericitizada. A estes associam-se sombras de pressão preenchidas por quartzo recristalizado e deformado (em fita), demonstrativos de algum tectonismo. A matriz fina e precoce pode ainda ser observada em diversos domínios da lâmina polida, estando por vezes englobada por espessas bandas de carbonatos sin-metalogenéticos [A – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **B – Amostra 13001-10:** rocha texturalmente muito semelhante à descrita anteriormente, com uma sericitização fina mas por vezes intensa da matriz, na qual se observam relíquias de feldspato por vezes incompletamente alterados. A relíquia visível na imagem encontra-se numa posição “natural” e relativamente preservada de processos de deformação [B – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **C – Amostra 13001-14:** rocha caracterizada por uma forte silicificação (quartzo hidrotermal) e sericitização intensa. Matriz e estruturas primárias foram quase totalmente obliteradas face ao grau de alteração e à recristalização das diversas fases minerais. Fabric tectónico mais pronunciado relativamente às rochas anteriores [C – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 100X]; **D – Amostra 13001-17:** rocha localizada na base do pacote de vulcânicas de teto, de forte penetratividade textural, marcada por bandas de sericite de espessura variável. Estas bandas de sericite alternam frequentemente com domínios variavelmente alterados, percorridos por veios de carbonatos, por vezes deformados e cominuídos, bem como de quartzo hidrotermal [D – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **E – Amostra 13002-8:** rocha vulcânica porfíritica já representada nas figuras 5.1 E, F, H. A imagem permite a visualização de uma relíquia de feldspato parcialmente alterada para sericite, e inserida numa matriz fortemente sericitizada. É no entanto possível vislumbrar domínios da matriz quartzo-clorítica, não afetados pela alteração mineralizante, em zonas de deformação adjacentes ao fenocristais de feldspato [E – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 50X]; **F – Amostra 13002-10:** rocha porfíritica que evidencia um acréscimo da deformação tectonometamórfica, expresso por um fabric mais penetrativo e pronunciado da matriz sericitizada, bem como dos contornos e alinhamento da relíquia de feldspato. São visíveis nesta amostra alguns domínios da matriz mais cloritizados [F – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **G – Amostra 12001-13:** rocha vulcânica afetada por alteração muito pronunciada, dominada pela sericitização fina da matriz que abrange, inclusive, as zonas de deformação associadas às relíquias de feldspato. Estas relíquias, por sua vez, apresentam-se extremamente sericitizadas (e silicificadas) sendo por vezes recortadas por bandas finas e regulares de sericite. Nesta rocha os carbonatos são frequentes, quer no seio de veios que recortam a matriz, quer finamente disseminados juntamente com a sericite [G – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X]; **H – Amostra 12001-17:** amostra de rocha suprajacente à lenticula de minério onde a alteração hidrotermal não se revela tão intensa como em níveis superiores, havendo a preservação parcial da matriz constituída essencialmente por quartzo e clorite de grão finos. Os domínios de rocha mais sericitizados evidenciam uma transposição tectonometamórfica bem vincada (canto superior esquerdo) [H – Luz transmitida; nicóis cruzados; Ampliação: 50X].





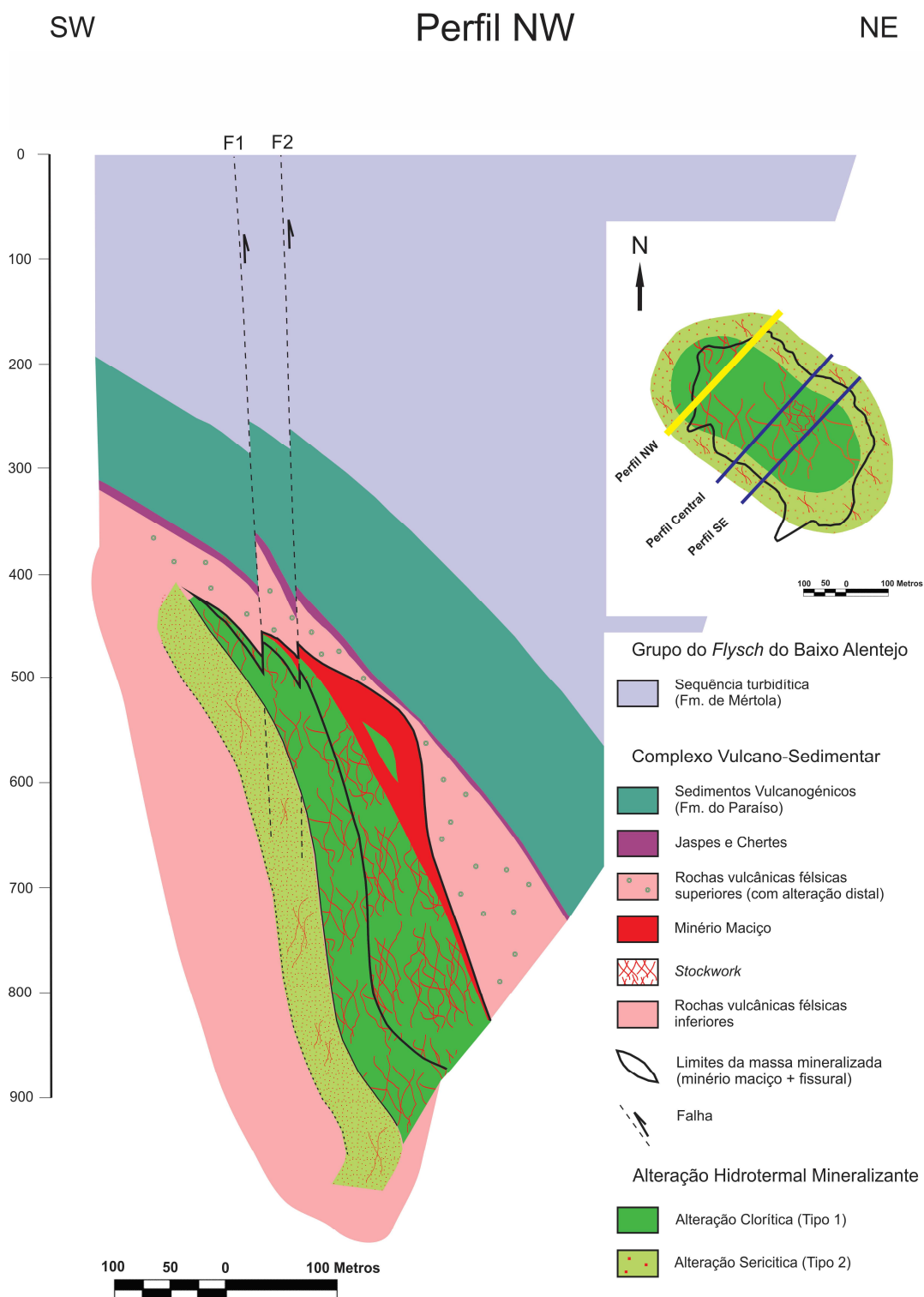


#### 5.3.4. Zonalidade da alteração hidrotermal

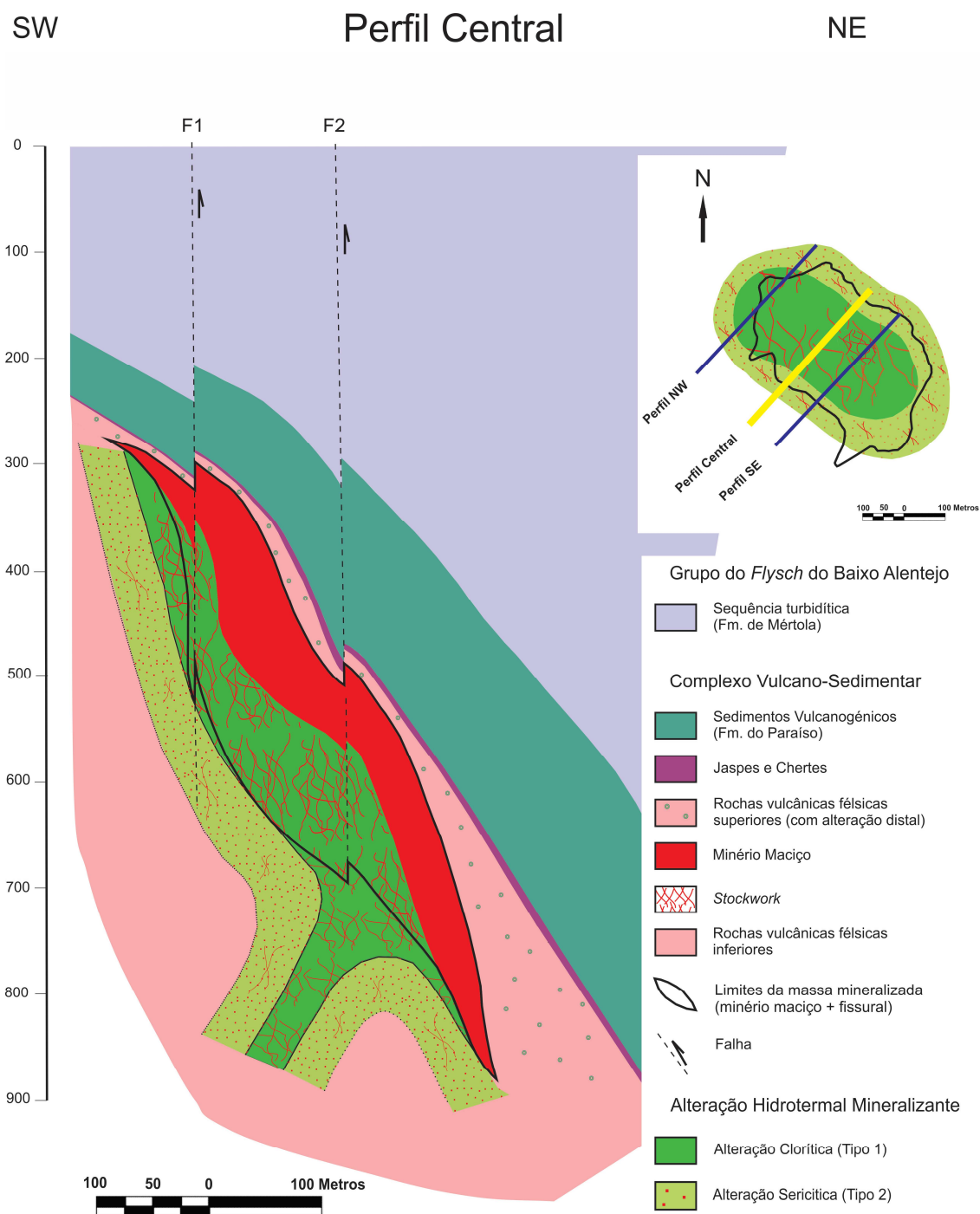
A caracterização mineralógica e textural dos padrões de alteração hidrotermal mineralizante do jazigo de Estação, permitiu a definição de fácies diferenciadas e o estabelecimento de uma zonalidade de alteração que se revela distintiva, embora comum a outros depósitos de sulfuretos maciços vulcanogénicos, designadamente na FPI. Tal como Barriga (1983) descreveu a muro da massa de Feitais, também na massa de Estação se observam padrões de alteração hidrotermal das rochas encaixantes a muro da mineralização cujas assinaturas paragenética, textural e química permitiram definir diferentes tipologias de alteração com zonalidade expressa nos perfis NW, Central e SE apresentados nas figuras 5.6, 5.7 e 5.8. Quer as fácies de alteração do tipo 1, quer as do tipo 2 se encontram bem representadas nos três perfis. Nos perfis referidos, o *stockwork* é representado em ordem a estas fácies de alteração, dando expressão ao seu significado genético e não económico. Não obstante, houve o cuidado de delimitar nos perfis os domínios do *stockwork* que são classificados, do ponto de vista mineiro, como minério fissural (teores em metais básicos acima do respetivo *cut-off*).

Importa ter em consideração que o modelo de zonalidade de alteração aqui apresentado tem por base as características das paragénese de alteração das rochas a muro da massa mineralizada descritas nos subcapítulos anteriores, uma vez que as relações geométricas entre a mineralização e as suas rochas encaixantes se encontra preservada. É nessa modelação de zonalidade de alteração que assentam os critérios mais seguros e robustos de prospeção mineral, associados a este tipo de depósito; a determinação das várias zonas de alteração a muro do minério, delimita e/ou vetoriza os potenciais alvos a estudar e a prospetar.

A alteração observada nas rochas vulcânicas de teto é claramente mais fraca e subtil do que as fácies mais periféricas e distais que se observam a muro da massa de minério (Tipo 2). Quer as características paragenéticas e texturais observadas, quer sobretudo a molécula paragonítica presente nas suas sericites (Cap. 6), permitem a definição desta alteração como sendo do tipo 3. A presença desta alteração paragonítica, do tipo 3, a teto da massa de Estação, justifica duas possibilidades de interpretação, ambas legítimas à luz dos dados atuais; ou estamos perante uma alteração, a teto, mais fraca porque mais tardia em relação às condições de pico térmico do sistema hidrotermal mineralizante, mas num pacote autóctone, ou, em alternativa, poder-se-á alvitrar que estamos perante alteração sin-metalogenética que afetou rochas lateralmente localizadas numa posição mais distal e que se encontram presentemente fora da sua posição original (alóctones), deslocadas tectonicamente para o teto da mineralização. Um estudo dirigido a esse objetivo seria necessário para esclarecer esta questão. Um provável contacto por falha no teto da massa de minério maciço, posto em evidência por inspeção petrográfica neste estudo, é consistente com, mas está longe de ser suficiente para demonstrar esta possibilidade.

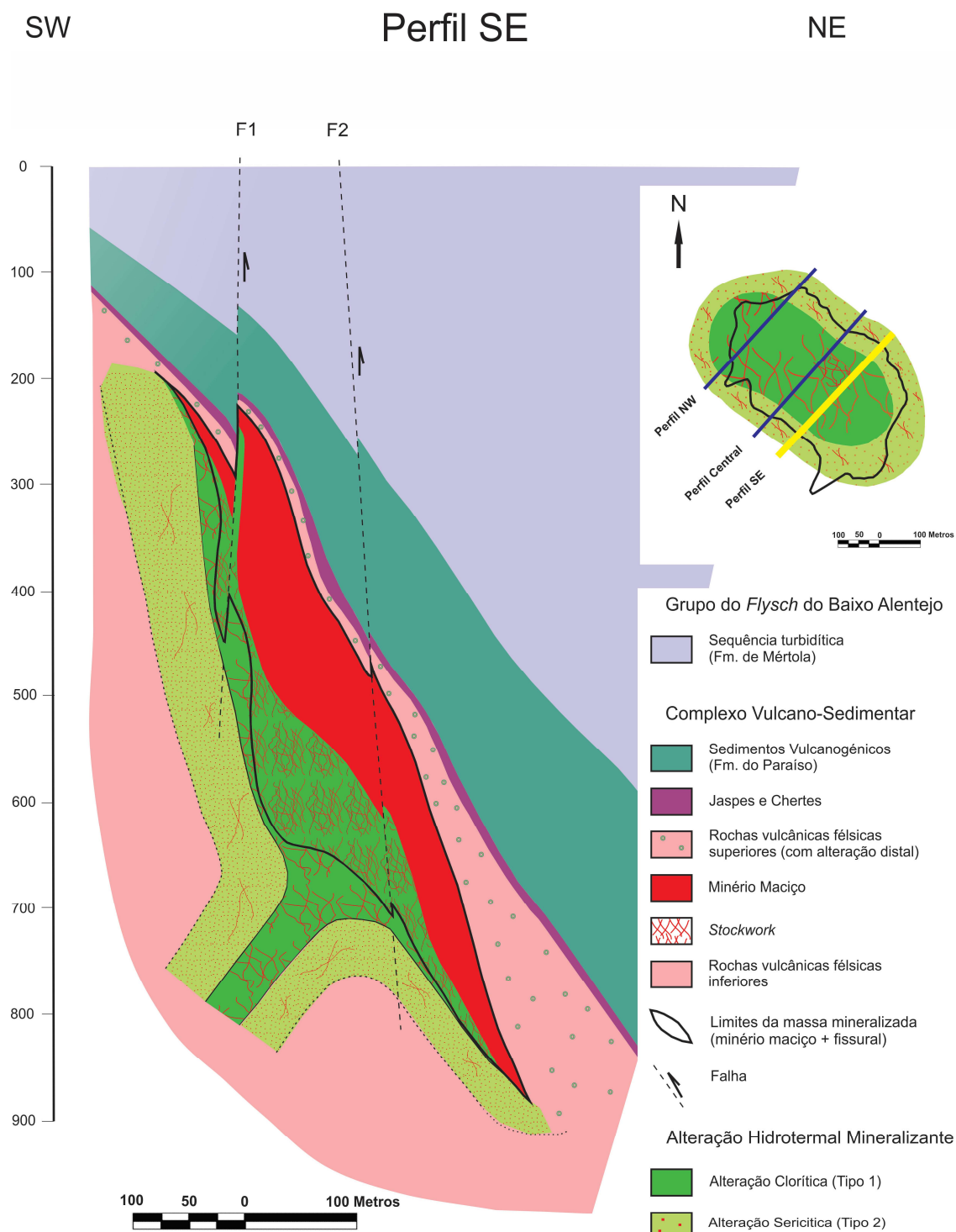


**Figura 5.6** – Representação da zonalidade de alteração mineralizante observada em corte, sob a massa de Estação, segundo o perfil NW. Inclusão, no canto superior direito, da representação esquemática do rebatimento horizontal do contorno do minério maciço (linha a negro; departamento de geologia da Almina S.A.; não publicado) e das zonas de alteração hidrotermal definidas neste estudo, com a projeção da localização e orientação dos três perfis estudados (a amarelo, o perfil representado em corte).



**Figura 5.7** – Representação da zonalidade de alteração mineralizante observada em corte, sob a massa de Estação, segundo o perfil Central. Inclusão, no canto superior direito, da representação esquemática do rebatimento horizontal do contorno do minério maciço (linha a negro; departamento de geologia da Almina S.A.; não publicado) e das zonas de alteração hidrotermal definidas neste estudo, com a projeção da localização e orientação dos três perfis estudados (a amarelo, o perfil representado em corte).





**Figura 5.8** – Representação da zonalidade de alteração mineralizante observada em corte, sob a massa de Estação, segundo o perfil SE. Inclusão, no canto superior direito, da representação esquemática do rebatimento horizontal do contorno do minério maciço (linha a negro; departamento de geologia da Almina S.A.; não publicado) e das zonas de alteração hidrotermal definidas neste estudo, com a projeção da localização e orientação dos 3 perfis estudados (a amarelo, o perfil representado em corte).

#### 5.4. Mineralização maciça

A arquitetura lenticular da mineralização primária na massa de Estação, que é comum à que ocorre noutros jazigos da FPI e em outras províncias metalogenéticas semelhantes a nível global, foi afetada por processos tectonometamórficos, de intensidade variável, que modificaram ligeiramente a geometria original do depósito, bem como as características texturais e mineralógicas primárias do próprio minério. Esta realidade é bem patente nalgumas observações feitas ao longo deste estudo.

A observação microscópica de um conjunto de 15 lâminas polidas de minério maciço permitiu confirmar que a massa de sulfuretos maciços de Estação é, como inicialmente constatado por análise macroscópica, constituída essencialmente por pirite à qual se associam quantidades acessórias de esfalerite, galena, calcopirite, arsenopirite e tenantite-tetraedrite. O predomínio da pirite face às restantes fases sulfuretadas portadoras de metais básicos revela-se mais acentuado nos minérios maciços do que propriamente no *stockwork*. Além deste conjunto de minerais mais comuns e dominantes no minério maciço, outras fases minerais de interesse foram identificadas em quantidades diminutas com recurso ao MLA e serão postas em evidência no capítulo 8. O quartzo, os carbonatos, a sericite e a clorite foram identificados como os minerais transparentes mais abundantemente representados na ganga dos minérios maciços, podendo ocorrer em espaços intersticiais, em fraturas e/ou inclusões de variadas dimensões, ou englobando matricialmente os sulfuretos mais dispersos e disseminados, em zonas de minério semi-maciço.

As amostras cujas fotomicrografias se representam nas estampas das figuras 5.9 e 5.10 apresentam uma razoável variabilidade mineralógica e textural. Estes dois conjuntos de fotomicrografias de minério maciço ilustram as fases mineralógicas mais comuns na massa de Estação e, sobretudo, as relações paragenéticas e texturais, sejam estas primárias ou secundárias, que decorrem da formação e evolução metalogenética do sistema, bem como das transformações pós-metalogenéticas que sobre ele atuaram.

A pirite é, como já referido, a principal fase mineral observada, ocorrendo de um modo geral com granularidade fina, mas podendo atingir expressões mais grosseiras um pouco por todo o jazigo. Esta pirite ocorre normalmente sob forma de massas contínuas e extensas. Em domínios de mineralização menos intensa, o preenchimento dos interstícios entre massas ou cristais sulfuretados faz-se quase sempre por quartzo, clorite e carbonatos, com forte evidência textural de recristalização e deformação intra-cristalina decorrentes do tectono-metamorfismo. São expressão deste fenómeno os frequentes cristais de quartzo estirados (em fita) e/ou com extinção ondulante, bem como bandas de clorite deformada, com tintas acinzentadas ou de azul anómalo e extinção ondulante. São observáveis também fraturas tardias menos deformadas (dobradas), preenchidas por carbonatos (*e.g.* Fig. 5.9A), na sua maioria calcite, facto que indicia deformação progressiva, multifásica e prolongada no tempo. A variabilidade textural observada no caso da pirite é igualmente expressa não só pelo grau de recristalização dos seus cristais e extensão dos respetivos agregados maciços, mas também pelas estruturas primárias que exhibe. Algumas dessas estruturas constituem relíquias da deposição primária de pirite em espaço aberto (paleo-canais de descarga de fluidos metalíferos) (Fig. 5.9C; 5.9D); são estruturas anelares e/ou colomórficas, geralmente concêntricas, variavelmente recristalizadas e coalescidas por processos metamórficos. A fraca intensidade da recristalização em certas zonas, permite a conservação destas estruturas e algumas delas conservam alguns minerais transparentes como inclusões (Fig. 5.10B). Raros aglomerados esféricos de pirite fina e anédrica, designados por “frambóides”, foram igualmente observados (Fig. 5.9D). Algumas destas estruturas primárias foram também identificadas e descritas na massa de Feitais por Barriga (1983) e por Gaspar (1995). Relativamente a estas estruturas colomórficas, os referidos autores evidenciavam uma alternância mineralógica concêntrica que englobava esfalerite, calcopirite e galena. No caso do minério maciço de Estação esta relação textural não é tão evidente, observando-se apenas o preenchimento de algumas

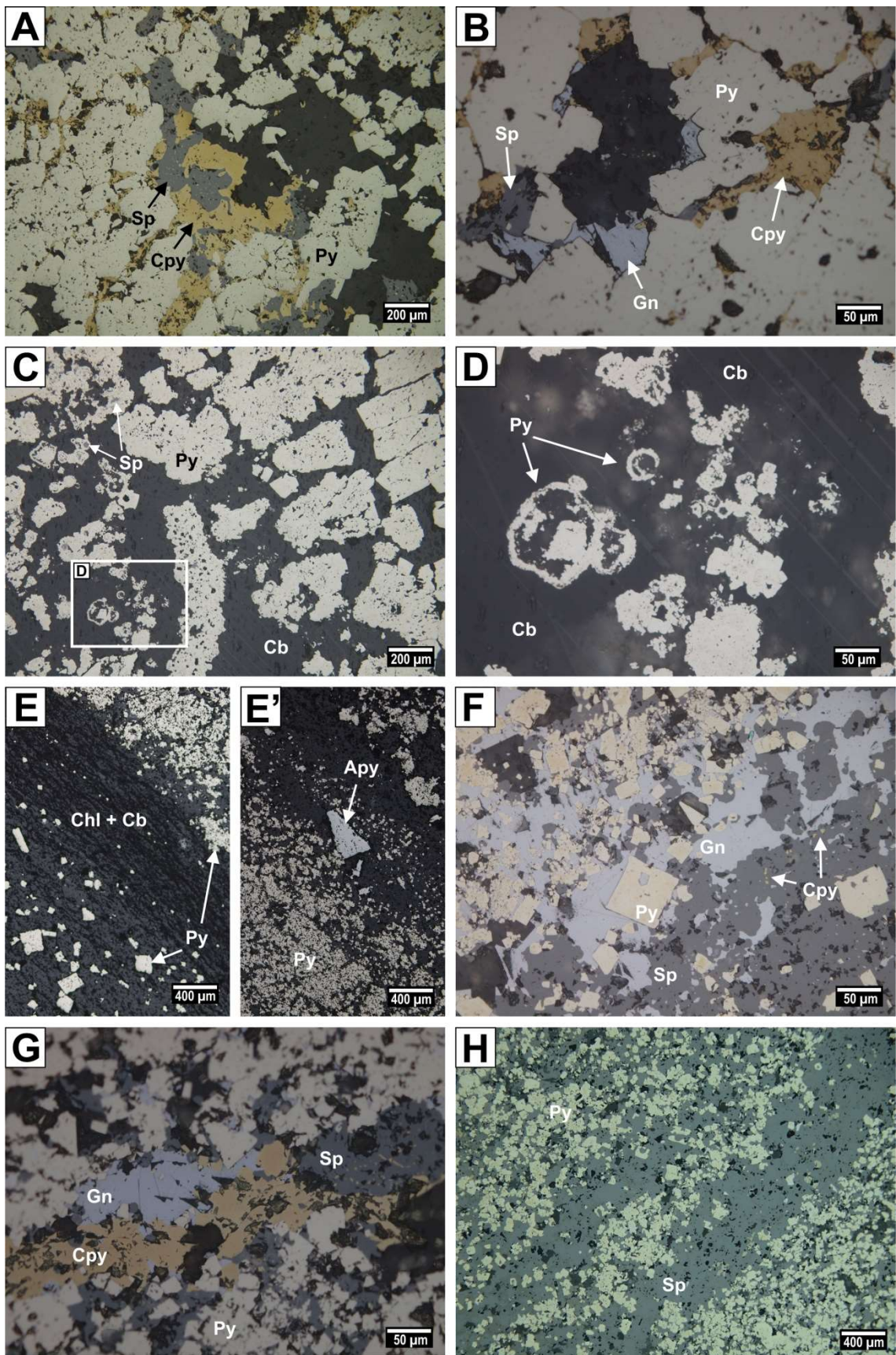
destas estruturas piríticas concêntricas por esfalerite (Fig. 5.10C). Intimamente associada à pirite, nomeadamente nos bordos das suas massas e também na dependência de descontinuidades que materializam planos de cisalhamento, surgem frequentes cristais euédricos de arsenopirite (Fig. 5.9E'; Fig. 5.10C). A arsenopirite apresenta uma distribuição mais regular e constante nestas zonas de minério maciço, relativamente ao observado no *stockwork*.

A esfalerite, como principal mineral de zinco presente neste jazigo, surge sob forma de bandas de espessura muito variável, onde ocorre como finos e irregulares preenchimentos intersticiais, principalmente na dependência da pirite (*e.g.* Fig. 5.9F,H; 5.10B,C). As bandas mais desenvolvidas de esfalerite evidenciam um carácter pervasivo e de substituição do encaixante pirítico (Fig. 5.9H; 5.10B), sendo por vezes possível a observação de golfos de corrosão em cristais de pirite (Fig. 5.9H). Importantes relações texturais e genéticas observam-se também entre a esfalerite e outros dois minerais: a calcopirite e a galena. Estes, surgem frequentemente associados à esfalerite em texturas de substituição e/ou exsolução (Fig. 5.9A,F,G). As inclusões mais observadas na esfalerite são de calcopirite (“doença da calcopirite”) que se distribuem de forma regular ou aleatória, ou ainda replicando alinhamentos cristalográficos ou estruturais (*e.g.* clivagem) dos cristais de esfalerite afetados.

A galena surge nestas amostras em quantidades reduzidas, ainda que claramente mais abundante do que em zonas de minério fissural, podendo mesmo, em determinados casos, sobrepor-se a outros minerais como a calcopirite ou a tenantite-tetraedrite (*e.g.* Fig. 5.9F; 5.10A). Texturalmente, a galena ocorre predominantemente anédrica, no preenchimento de interstícios da pirite maciça, quase sempre associada espacial e geneticamente à esfalerite, e por vezes à calcopirite. Importa uma vez mais destacar a relação textural entre estes três minerais (esfalerite, calcopirite e galena) e a pirite – e arsenopirite –, com o estabelecimento claro de um contraste mecânico já anteriormente descrito; o carácter dúctil daqueles contrasta com as características mais frágeis e refratárias dos cristais e massas de pirite. Nos minérios maciços, a calcopirite não se encontra tão bem representada como no *stockwork*. Ainda assim, existem sectores com alguma presença deste sulfureto de cobre e ferro, quase sempre como preenchimento da rede de fraturas da pirite maciça e, tal como referido anteriormente, sob forma de texturas de substituição da esfalerite (Fig. 5.9A, B; 5.10E, F). Ao contrário do que se verifica, por exemplo em Feitais (Barriga, 1983; 1988), onde a calcopirite se concentra na base do minério maciço e em continuidade com o topo do minério fissural, no jazigo de Estação esta realidade não se verifica com a mesma proeminência. Ainda assim, e restringindo a análise à inspeção microscópica das amostras ao longo das sondagens que intersectam a lenticula de minério maciço, foi possível verificar um ligeiro incremento de calcopirite em profundidade, do topo para a base da massa de minério maciço, facto que é coerente com a zonalidade metálica característica das mineralizações do tipo VMS (Large, 1992). A caracterização mineralógica e textural do minério maciço, e sua relação com a geometria do corpo mineralizado, permitiu assim o estabelecimento de uma zonação vertical e horizontal da distribuição de teores em metais básicos (Zn-Pb-Cu). Esta zonação é razoavelmente concordante com outros modelos de jazigos estudados por diversos autores, quer na FPI, quer noutras províncias metalogenéticas da mesma tipologia de depósito (*e.g.* Barriga, 1983; Relvas, 1991; Large, 1992; Gaspar, 1995; Tornos, 2006). Além do que já foi referido acerca da distribuição da calcopirite, é claramente evidente o incremento relativo de esfalerite e galena na periferia do corpo maciço, em comparação com as zonas centrais do mesmo.

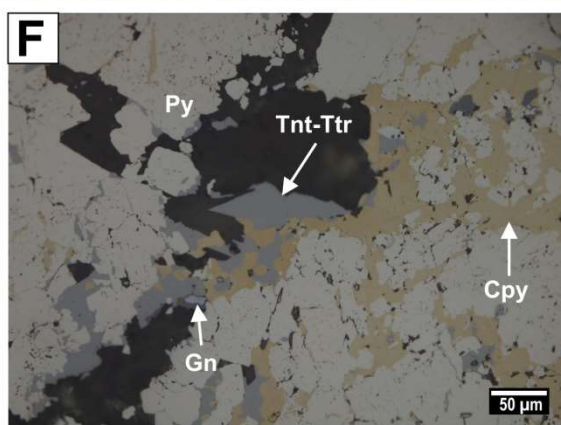
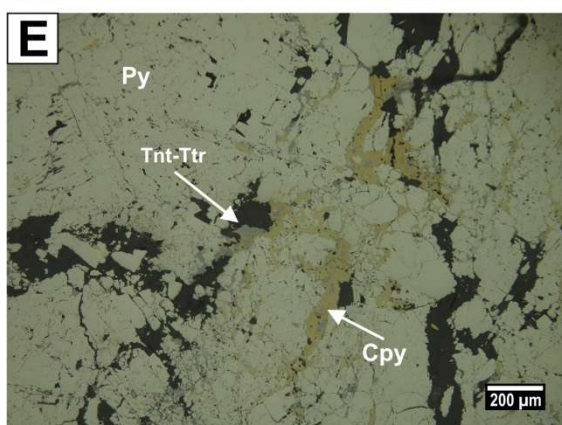
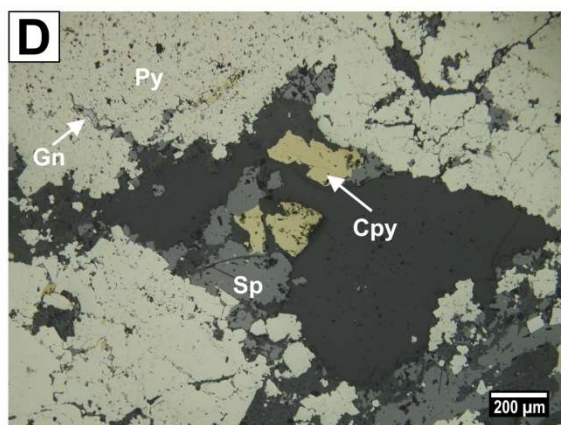
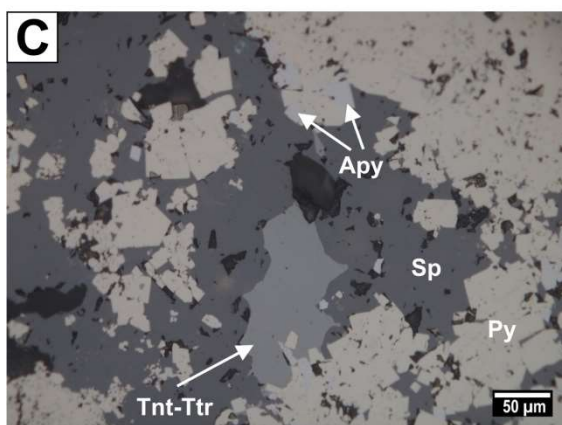
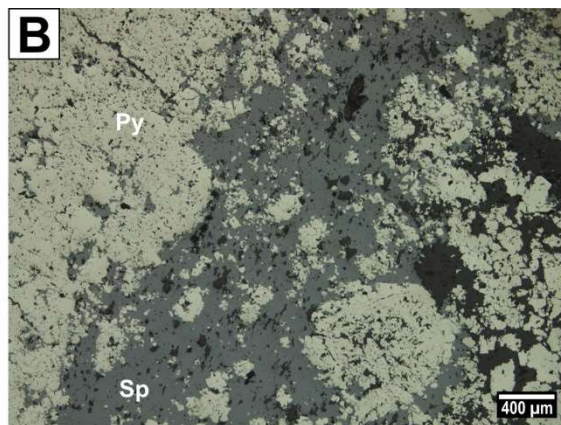
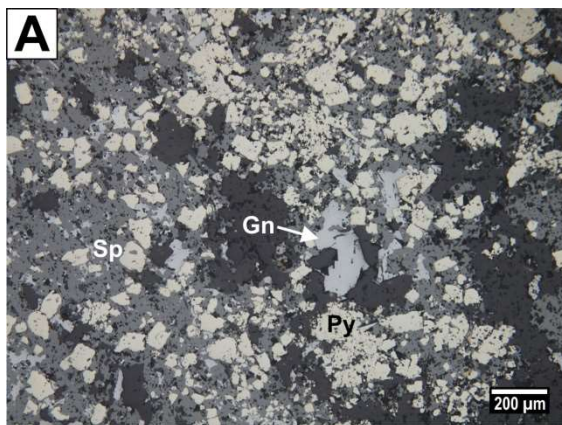
**Figura 5.9 (Página seguinte)** – Fotomicrografias de lâminas polidas representativas do minério maciço. **A – Amostra 13001-18:** minério sub-maciço, no qual se observa um predomínio de pirite maciça ou disseminada, geralmente euédrica. A calcopirite observa-se em preenchimentos de zonas de fracturação da pirite, bem como inclusa no interior da esfalerite (“doença da calcopirite”), ocorrendo orientada por alinhamentos cristalográficos daquele mineral. A imagem evidencia ainda a presença de carbonatos (cinza mais escuro) no preenchimento de espaços intersticiais entre minerais sulfuretados [A – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 100X]; **B – Amostra 13001-18:** zona de minério maciço. Destaque para a relação paragenética e textural entre a calcopirite, esfalerite e galena, e a pirite, mais competente. Os minerais de comportamento mais plástico, associam-se no preenchimento de fraturas da pirite, potenciando a sua substituição [B – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 400X]; **C – Amostra 13002-15:** exemplar de minério maciço com predomínio de pirite, ± esfalerite, que apresenta variações texturais em diversos sectores da imagem. Do lado esquerdo, observam-se pequenas estruturas piríticas irregulares e anédricas, colomórficas e de predominante concentricidade, evidenciando a conservação de texturas primárias de deposição. Destaque para o preenchimento de algumas dessas estruturas por esfalerite. Do lado direito, a pirite apresenta-se mais euédrica e recrystalizada, conservando espaços no seu interior preenchidos por minerais transparentes. Os carbonatos preenchem os espaços matriciais entre os sulfuretos [C – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 100X]; **D – Amostra 13002-15:** detalhe da imagem C. Destaque para as mesmas estruturas concêntricas e colomórficas, bem como raros agregados regulares de pirite (frambóides) (centro, topo). A matriz carbonatada exhibe maclas típicas bem visíveis (canto superior direito) [D – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 400X]; **E e E’ – Amostra 13002-16:** Exemplos de recrystalização e brechificação de sulfuretos de comportamento frágil (e.g. pirite), na proximidade de planos de cisalhamento. A arsenopirite, de hábito euédrico e de maior reflectância, surge frequentemente associada a estas zonas [E – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 50X]; **F – Amostra 13002-19:** mineralização pirítica incorporando quantidades significativas de galena e de esfalerite, no interior da qual se observam exsoluções de calcopirite. Observam-se inclusões de galena em cristais de pirite e em zonas de predomínio da esfalerite (substituição) [F – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 400X]; **G – Amostra 13002-32:** zona de mineralização pirítica. Veio de esfalerite, calcopirite e galena no interior de pirite maciça. Texturalmente destacam-se as exsoluções de calcopirite no interior da esfalerite e os triângulos de arrancamento característicos da galena [G – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 400X]; **H – Amostra 13002-33:** minério maciço pirítico-esfalerítico. Esfalerite bandada. Observação de pirite fortemente substituída por esfalerite: corrosão de cristais de pirite pela esfalerite com exibição de texturas em cárie (centro) [H – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 50X].





**Figura 5.10 (Página seguinte)** – Fotomicrografias de lâminas polidas representativas do minério maciço. **A – Amostra 12001-22:** minério zincífero. Zona de predomínio de esfalerite + galena. Texturas de substituição da pirite pela esfalerite. O quartzo surge como preenchimento de espaços intersticiais entre minerais sulfuretados [A – Luz refletida; nicóis cruzados; Ampliação: 100X]; **B – Amostra 12001-23:** minério zincífero. Corredor de esfalerite a substituir pirite. Em baixo, à direita, observa-se uma massa sub-colomórfica de pirite incompletamente recristalizada [B – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 50X]; **C – Amostra 12001-23:** predomínio de pirite e esfalerite. Em quantidades inferiores observa-se a presença de tenantite-tetraedrite (ao centro). A arsenopirite presente na imagem está visivelmente associada aos bordos recristalizados da pirite [C – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 400X]; **D – Amostra 12001-25:** zona de pirite maciça percorrida por veio de quartzo, esfalerite e calcopirite. Juntamente com estes dois sulfuretos, a galena surge a preencher microfraturas no interior da pirite [D – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 100X]; **E – Amostra 12001-26:** mineralização maciça pirítica, intensamente fraturada e brechificada, cujos interstícios são preenchidos por calcopirite, tenantite-tetraedrite, e rara galena [E – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 100X]; **F – Amostra 12001-26:** detalhe da imagem E. Destaque para a paragénese pirite + calcopirite + tenantite-tetraedrite ± galena. Evidências texturais de substituição da pirite pela calcopirite, e da pirite + calcopirite pela tenantite-tetraedrite [F – Luz refletida; nicóis paralelos; Ampliação: 400X]





## 6. Química Mineral

---

### 6.1. Mineralogia de alteração hidrotermal: silicatos e carbonatos

Os dados de química mineral obtidos são apresentados e discutidos neste capítulo. Os correspondentes resultados analíticos detalhados encontram-se expressos nos anexos IV.1 a IV.4. Estes dados complementam do ponto de vista mineralógico o trabalho de caracterização petrográfica anteriormente apresentado, com vista à análise e interpretação dos processos metalogenéticos associados à mineralização. A caracterização textural e mineralógica dos minerais de alteração hidrotermal mais comuns e associados ao minério, bem como a definição de padrões de alteração levada a cabo no capítulo 5, suportaram a seleção de um conjunto de lâminas representando amostras a analisar para determinação da composição química dos minerais como a clorite, a sericite, os carbonatos e os feldspatos. Esta análise colocou a descoberto algumas variabilidades composicionais de indubitável interesse para a discussão da evolução do sistema mineralizante que permitiram, por exemplo, a definição de limites entre zonas de alteração.

A representação das análises e respetiva variação composicional ao longo das diversas relações gráficas apresentadas tem em conta os vetores espaço e tempo associados à evolução do sistema, em linha com a abordagem que tem vindo a ser realizada (zonalidades em planta e em perfil).

Importa lembrar (ver Cap. 4) que, para efeitos do estudo apresentado neste capítulo, relativo às mineralogias de alteração, se selecionaram 28 amostras (lâminas polidas). No total, foram produzidas 537 análises válidas, tendo sido descartadas 57.

#### 6.1.1. Clorite

As análises químicas correspondentes às clorites, obtidas por microsonda eletrónica, apresentam-se tabeladas de forma completa no anexo IV.1 e são aqui resumidas através dos seus valores médios e intervalos estatísticos na tabela 6.1 e graficamente projetadas nas figuras 6.1 a 6.5. Os valores das análises pontuais em clorites foram agrupados segundo as suas proporções relativas ao nível das suas composições em Fe e Mg, e expressos sob forma de médias, quando mais apropriado, nomeadamente quando a semelhança composicional assim o justificava. Procurou-se, assim, a sintetização da informação resultante de um conjunto relativamente alargado de análises de clorites. Este processo inicial de agrupamento teve em vista melhorar a maneabilidade dos resultados, mas sem perder rigor, nem representatividade, evitando-se ao máximo obliterar qualquer variabilidade associada aos dados obtidos. Esta metodologia de apresentação dos resultados de química mineral foi replicada nos restantes minerais analisados.

A clorite é, como referido anteriormente, um dos principais minerais constituintes das paragéneses de alteração hidrotermal associada às mineralizações de Aljustrel. Foi possível constatar nas observações efetuadas que as características texturais e paragenéticas das clorites nos remetem para composições mineralógicas tipicamente associadas aos eventos mineralizantes, posteriores aos processos de cloritização por alteração regional. Como será posto em evidência adiante, a composição das clorites permite inferir uma razoável proximidade das respetivas amostras relativamente ao eixo do sistema hidrotermal, permitindo associá-las ao processo metalogenético. Texturalmente, foram subdivididas em clorites do tipo “M” (ou clorites matriciais) e clorites do tipo “V” (ou clorites de veio), traduzindo duas formas distintas de ocorrência desta geração de clorites sin-mineralizantes (ou metalogenéticas). As clorites do tipo M são representadas por massas de clorite fina e



cristalograficamente bem orientada, apresentam frequentemente alguma extensão, podendo por vezes encontrar-se na proximidade de veios preenchidos por outras gerações de clorite. Estas clorites resultam maioritariamente de processos de substituição da matriz por interação desta com fluidos mineralizantes. Por outro lado, as clorites de veio, resultam da circulação e precipitação a partir de um fluido em espaço aberto e/ou recristalização de clorites precoces com reequilíbrio químico. Estas clorites apresentam maior cristalinidade que as clorites da matriz e estão tipicamente associadas, e em equilíbrio, com outros minerais com os quais precipitam como o quartzo, os sulfuretos e carbonatos sin-metalogenéticos.

A fórmula estrutural das clorites foi calculada na base de 28 átomos de oxigénio, assumindo a realização das análises em base anidro e considerando a sua fórmula ideal como  $(\text{Mg, Fe, Al})_{12} [(\text{Si, Al})_8 \text{O}_{20}] (\text{OH})_{16}$  (Deer *et al.*, 1992).

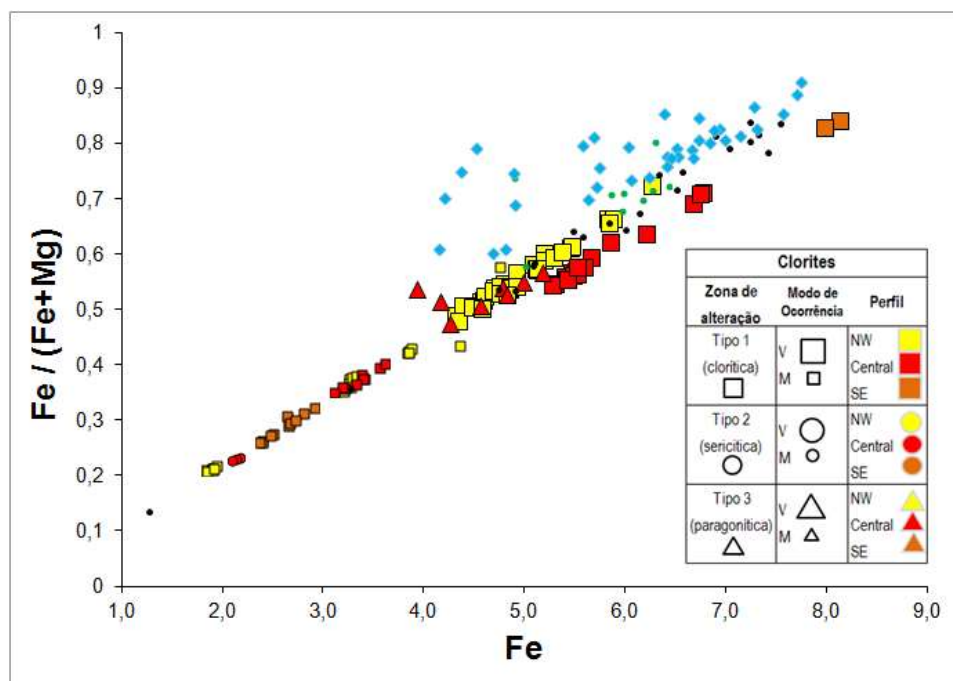
A determinação das proporções relativas de ferro e magnésio nas clorites através da relação  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$  (ver Anexo IV; Figuras 6.1 e 6.2), põe em evidência de forma clara e direta, a composição mais ferrosa das clorites de veio ( $0.48 < \text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) < 0.84$ ) relativamente às que se formam na matriz ( $0.21 < \text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) < 0.58$ ). O cálculo das fórmulas estruturais médias das clorites analisadas, a partir dos catiões em posições octaédrica e tetraédrica culminam em duas fórmulas médias que traduzem as variações acima indicadas:

Matriz:  $(\text{Mg}_{6.07} \text{Fe}_{2.91} \text{Al}_{2.84})_{12} [(\text{Si}_{5.34} \text{Al}_{2.66} \text{O}_{20})] (\text{OH})_{16}$

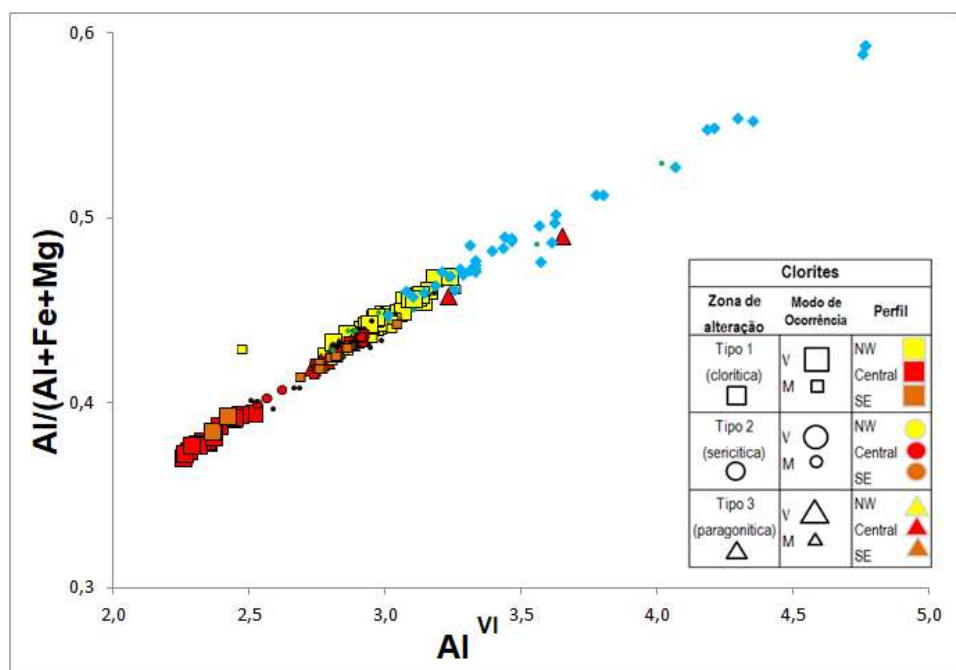
Veios:  $(\text{Mg}_{3.83} \text{Fe}_{5.22} \text{Al}_{2.80})_{12} [(\text{Si}_{5.32} \text{Al}_{2.68} \text{O}_{20})] (\text{OH})_{16}$

A observação dos diagramas das figuras 6.1 e 6.2 expressam graficamente as diferenças nas concentrações em ferro, magnésio e alumínio expressas pelos diferentes tipos de clorites analisadas. A figura 6.1 permite separar de forma clara as clorites do tipo V, com assinaturas mais ricas em ferro, numa posição superior do *trend* relativamente a todas as restantes clorites, do tipo M. Esta discriminação gráfica, e respetivos contrastes químicos, pode ser atribuída ao controle quase exclusivo da química do fluido mineralizante no processo de precipitação das clorites do tipo V, em espaço aberto. Em contraste com o que ocorre nos veios, as clorites matriciais manifestam naturalmente uma influência menos exclusiva dos fluidos mineralizantes, apresentando uma composição que reflete igualmente a composição da matriz substituída, o que se afigura expectável num processo desta natureza, não obstante a variável relação de proximidade/dependência mais ou menos direta relativamente aos veios mineralizados. Esta substituição da rocha encaixante, materializada pela química das clorites do tipo M, é função da razão água/rocha (A/R) associada ao processo em cada caso concreto de substituição; quanto maior for esta razão mais será a influência dos fluidos mineralizantes na composição das clorites formadas na matriz. Consistentemente, a análise a uma escala maior, entre zonas internas (clorítica) e mais distais (sericiticas e paragoníticas) permite também constatar (ver tabela 6.1) um decréscimo gradual de ferro para a periferia do sistema, quer na comparação entre clorites de veio, quer na comparação entre clorites matriciais.

No diagrama da figura 6.1 são igualmente projetados dados relativos aos jazigos de Feitais (Barriga, 1983) e Gavião (Relvas, 1991), associados ao depósito de Aljustrel e que apresentam uma distribuição de valores de ferro e magnésio conforme com o que é observado em Estação. No caso da projeção de dados de clorites sin-mineralizantes de Neves Corvo (Relvas, 2000), constata-se um claro incremento de ferro nas clorites comparáveis deste depósito, quer em termos absolutos, quer na sua relação com o magnésio. Esta diferença para Neves Corvo poderá (segundo Relvas *et al.*, 2006a,b *in* Fernandes 2011) estar associada à maior “longevidade da atividade hidrotermal”, à maior intensidade e temperatura das interações hidrotermais e à singularidade do teor metalífero deste depósito.



**Figura 6.1** – Diagrama de correlação de Fe vs Fe/(Fe+Mg) em função de 3 parâmetros associados: zona de alteração, modo de ocorrência e perfil. Projeção e comparação com dados de Feitais (Barriga, 1983) - ●; Gavião (Relvas, 1991) - ●; Neves Corvo (Relvas, 2000) - ◆



**Figura 6.2** – Diagrama de correlação  $Al^{VI}$  vs  $Al/(Al+Fe+Mg)$ , em função de 3 parâmetros associados: zona de alteração, modo de ocorrência e perfil. Projeção e comparação com dados de Feitais (Barriga, 1983) - ●; Gavião (Relvas, 1991) - ●; Neves Corvo (Relvas, 2000) - ◆

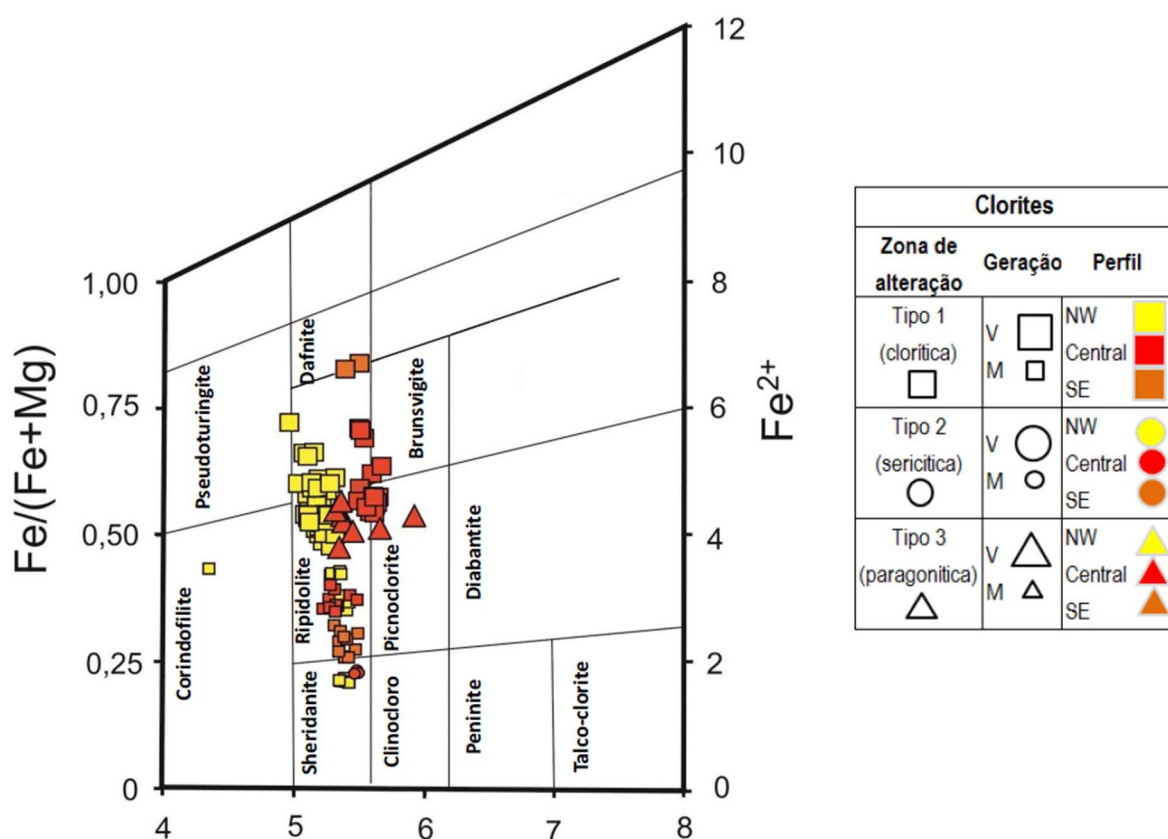
No caso do diagrama da figura 6.2, observa-se de novo uma segmentação na reta de regressão, não entre clorites de diferentes tipos, mas entre clorites de veio, no que à quantidade relativa de alumínio diz respeito. Pelo facto do alumínio e o ferro concorrerem na ocupação da posição octaédrica da estrutura da clorite, as clorites mais ferrosas localizadas no eixo do sistema mineralizante apresentam-se naturalmente menos disponíveis para acomodar alumínio nessa posição.

Neste diagrama, a comparação que é feita entre dados de clorites de diferentes origens e as que foram analisadas em Estação, evidencia mais uma vez diferenças geoquímicas entre os sistemas mineralizantes de Aljustrel e Neves Corvo. Em Neves Corvo (Relvas, 2000; Carvalho, 2016) verifica-se a presença de clorites significativamente ricas em alumínio (*e.g.* donbassites), o que contrasta com a composição mais ferrosa e magnesiânica das clorites de Estação e de Feitais onde as condições de pH e temperatura do processo metalogenético terão sido menos intensas.

A variabilidade composicional das clorites de Estação é posta em evidência no diagrama proposto por Hey, de 1954 (Fig. 6.3). É possível constatar o grande predomínio de ripidolites (cerca de 90% das análises) cuja gama de variação de Fe e Mg permite distribuir as clorites pela quase totalidade da área composicional correspondente. Ainda que exista um conjunto de clorites claramente mais magnesianas – sejam ripidolites com menor teor em Fe, sejam mesmo sheridanites –, que correspondem a clorites do tipo M, mais afastadas dos veios mineralizados, a realidade mostra que a maioria das ripidolites analisadas são fortemente ferrosas, estando localizadas em zonas proximais ao eixo do sistema e aos corredores de circulação de fluidos mineralizantes, e assim em estreita dependência relativamente aos mesmos, como vimos anteriormente.

As clorites metalogenéticas analisadas em Feitais (Barriga, 1983) e no Gavião (Relvas, 1991) evidenciam também o predomínio de ripidolites, cujos valores médios em Fe são inclusive superiores aos da massa de Estação (Fig. 6.1).

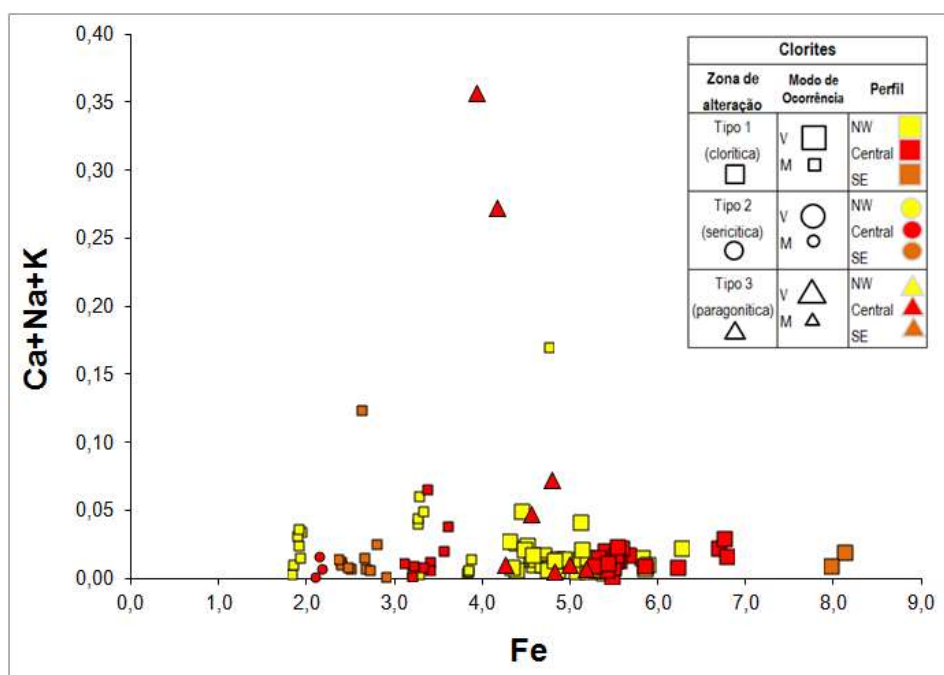
O restante cortejo composicional das clorites analisadas contempla picnoclorites, brunsvigites e pseudothuringites que, na nomenclatura mais atual de Bayliss (1975), e mais modernamente utilizada, dá lugar respetivamente a picnocloro, chamosite magnesiânica e chamosite aluminosa. No mesmo sentido, as ripidolites de Hey (1954) são classificadas como chamosite na nomenclatura de Bayliss (1975).



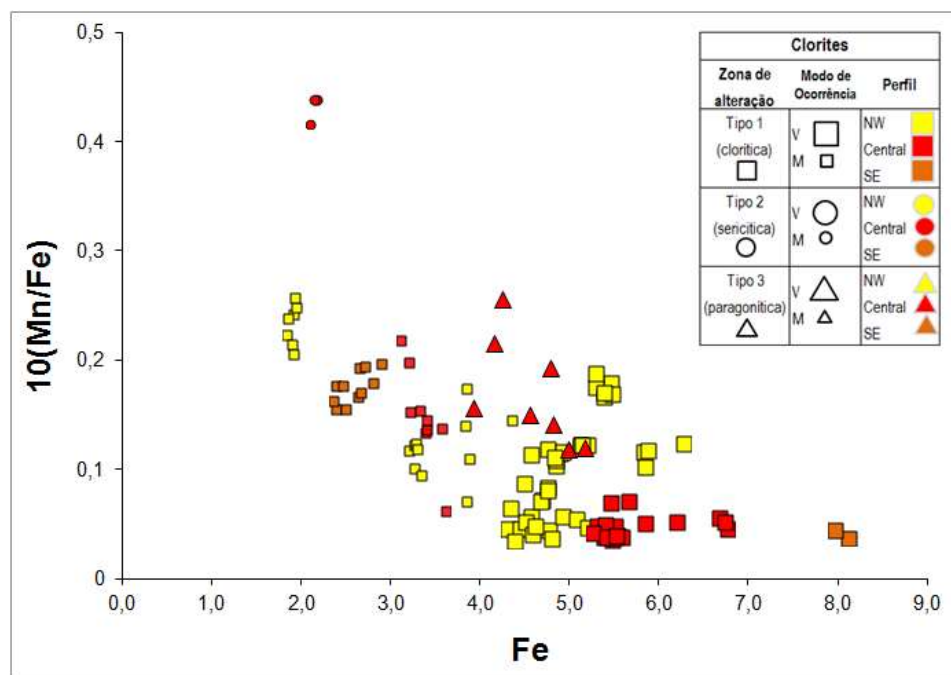
**Figura 6.3** Variedade composicional de clorites originadas durante os episódios de alteração mineralizantes (Diagrama de Hey, 1954, in Deer et al., 1992)

No que respeita ao comportamento dos álcalis e alcalino-terrosos (Figura 6.4) –  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  –, constata-se um vincado empobrecimento destes catiões nas zonas mais internas do sistema, devido à intensa lixiviação dos mesmos, causada pela alteração hidrotermal e mineralizante associada. É assim possível verificar uma presença maior de elementos herdados da rocha encaixante com o afastamento às zonas de circulação de fluidos. Alguns valores extremos considerados anómalos – a teto, em zona mais distal de alteração paragonítica – poderão constituir análises de misturas com micas ricas naqueles álcalis. Neste diagrama observa-se, uma vez mais, a discriminação entre clorites de veio e matriz em função da quantidade de Fe presente na estrutura das mesmas.

A observação do diagrama da figura 6.5 corresponde à variação do manganês nas clorites e permite distinguir diferentes tendências. Este elemento é conhecido por ser um indicador do estado de oxi-redução em sistemas geoquímicos, aumentando a sua proporção relativamente ao ferro com o estado de oxidação do sistema. Quando existe uma prevalência da química do fluido face à química da rocha – o que ocorre em veios – temos tendencialmente menos Mn e mais Fe (reduzido) nas clorites. Com o afastamento ao eixo do sistema e à dependência dos veios mineralizados, ocorre uma inversão desta tendência com aumento progressivo das concentrações em Mn. Os dados observados (Figura 6.5) poderão ser consistentes com o que se observa em Neves Corvo, onde Relvas (2000) destaca o facto de o manganês ser tendencialmente segregado para fora das zonas proximais ao sistema quando afectadas por fluidos redutores, em oposição ao que ocorre com o ferro que tem o comportamento contrário sob as mesmas condições, incorporando-se sob a forma de clorite e pirite.



**Figura 6.4** – Diagrama de correlação de Fe vs Ca+Na+K, em função de três parâmetros associados: zona de alteração, modo de ocorrência e perfil



**Figura 6.5** – Diagrama de correlação de Fe vs  $10(\text{Mn}/\text{Fe})$  em função de três parâmetros associados: zona de alteração, modo de ocorrência e perfil

**Tabela 6.1** – Estatística descritiva das clorites analisadas em veios e matriz, no jazigo de Estação, em função da respetiva zona de alteração hidrotermal - mineralizante

Zona de Alteração	Clorítica										Sericitica					Paragonítica				
Modo de Ocorrência	Matriz					Veios					Matriz					Veios				
N	54					109					3					9				
	Média	Mediana	$\sigma$	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	$\sigma$	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	$\sigma$	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	$\sigma$	Máximo	Mínimo
SiO <sub>2</sub>	26,58	26,83	1,40	28,21	19,39	24,88	24,84	0,85	26,42	22,82	27,73	27,77	0,10	27,80	27,62	26,13	25,58	1,39	28,93	24,99
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,01	0,01	0,05	0,00	0,02	0,01	0,02	0,06	0,00	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,06	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,34	23,19	0,62	24,47	22,00	21,79	22,88	2,28	24,79	17,95	21,89	21,87	0,24	22,14	21,66	22,23	22,10	0,85	23,79	21,39
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06	0,06	0,02	0,10	0,02	0,06	0,07	0,02	0,10	0,01	0,05	0,04	0,03	0,09	0,03	0,12	0,10	0,09	0,29	0,04
FeO	17,59	18,96	3,89	26,99	11,23	29,72	29,61	3,71	42,52	23,37	12,94	12,95	0,24	13,18	12,70	26,10	26,52	2,08	28,86	22,95
MnO	0,27	0,27	0,06	0,40	0,13	0,23	0,19	0,13	0,55	0,08	0,55	0,56	0,03	0,57	0,52	0,43	0,38	0,11	0,62	0,33
MgO	20,06	19,44	2,95	24,60	11,00	11,99	12,73	2,19	15,18	4,48	24,32	24,26	0,14	24,48	24,22	13,08	12,95	1,19	14,99	10,99
CaO	0,03	0,03	0,03	0,14	0,01	0,04	0,03	0,03	0,20	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,00	0,05	0,05	0,03	0,07	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,02	0,02	0,02	0,07	0,00	0,01	0,01	0,01	0,05	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,07	0,01	0,10	0,27	0,00
K <sub>2</sub> O	0,04	0,00	0,11	0,52	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,03	0,41	1,12	0,00

### 6.1.2. Sericite

O termo sericite remete para uma variedade textural de moscovite de grão fino, um filossilicato pertencente ao grupo das micas dioctaédricas. Este filossilicato integra de forma significativa as paragénese de alteração hidrotermal das mineralizações da FPI, não sendo o jazigo de Estação uma exceção, como tem vindo a ser referido neste estudo. A predominância deste mineral secundário na paragénese de alteração hidrotermal permitiu a delimitação de halos de alteração hidrotermal periféricos relativamente ao eixo central do sistema mineralizante, essencialmente clorítico. Em estudos metalogenéticos prévios a este (e.g. Barriga, 1983; Relvas, 1991; Relvas, 2000; Fernandes, 2011; Carvalho, 2016), a análise da variabilidade composicional das sericites associadas ao episódio mineralizante revelou-se importante na delimitação dos halos periféricos e ultra-periféricos, fundamentais na definição de modelos genéticos para os depósitos e de potenciais vetores de aproximação aos corpos mineralizados, com impacto significativo enquanto critérios de prospeção.

No jazigo de Estação, a pervasividade da alteração sericítica sin-metalogenética observada não torna evidente uma relação entre as características petrográficas e texturais da alteração e a variabilidade química das sericites analisadas. Neste sentido, a diferenciação das sericites foi, como veremos, essencialmente química e não textural.

Os resultados das análises químicas relativas às sericites apresentam-se tabeladas de forma completa no anexo IV.2, sendo resumidas através dos seus valores médios e intervalos estatísticos na tabela 6.2, e graficamente projetadas nas figuras 6.6 a 6.8.

A metodologia de tratamento dos dados seguiu preceitos semelhantes aos das clorites. No caso das sericites, procedeu-se ao agrupamento de análises pontuais sob forma de médias simples, sempre que tal se revelou conveniente e compatível com não se perder ou desclassificar informação mineralógica; apenas foram agrupadas sob o mesmo valor de N, análises muito semelhantes, realizadas na mesma lâmina polida e no mesmo domínio textural. Como é comum, são as proporções relativas de Na e K que caracterizam e diferenciam estes filossilicatos em ordem à ocupação estrutural da posição dodecaédrica (Deer *et al.*, 1974; Relvas, 1991). Posteriormente, foram estabelecidas fronteiras composicionais assentes nas razões  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{K})$ , no sentido de compreender a importância relativa da molécula paragonítica na composição das moscovites e, com base nesse critério, delimitar a respetiva zonalidade composicional.

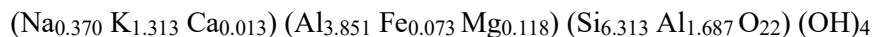
Foram assim discriminadas as sericites predominantemente potássicas (Tipo 2a;  $0 < \text{Na}/(\text{Na}+\text{K}) < 0.390$ ), de um grupo intermédio de sericites, mais empobrecidas em K e caracterizadas por um acréscimo progressivo de Na (Tipo 2b;  $0.390 < \text{Na}/(\text{Na}+\text{K}) < 0.720$ ), e, por último, de um grupo de sericites de elevada molécula paragonítica ou mesmo paragonites discretas (Tipo 3;  $0.720 < \text{Na}/(\text{Na}+\text{K}) < 1$ ). Esta discriminação estritamente química das sericites, sobreposta à zonalidade de alteração hidrotermal pré-definida (Cap. 5), coloca em evidência a predominância composicional das sericites em cada uma das respetivas zonas. Na zona de alteração do Tipo 1 (predominantemente clorítica), a sericite analisada apresenta um grande intervalo composicional –  $0.048 < \text{Na}/(\text{Na}+\text{K}) < 0.909$  –, com predomínio de sericites 2a; na zona de alteração do Tipo 2 (predominantemente sericítica potássica) temos exclusivamente sericites 2a, vincadamente potássicas –  $0.030 < \text{Na}/(\text{Na}+\text{K}) < 0.081$  –; por último, numa zona de alteração mais distal, designada como de Tipo 3 (predominantemente sericítica sódica) a variabilidade composicional aumenta, mas o Na nestes filossilicatos ganha relevância vincada, chegando a composições paragoníticas discretas –  $0.089 < \text{Na}/(\text{Na}+\text{K}) < 0.986$ ).

De forma a estabelecer uma zonalidade espacial que permitisse colocar em evidência a evolução composicional das sericites no sistema – face à amplitude de alguns daqueles intervalos – foram calculados os valores médios da razão  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{K})$  em cada intervalo (tabela 6.2) e expressos nas respetivas fórmulas estruturais médias.

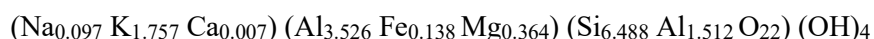
A fórmula estrutural das sericites foi calculada na base de 22 átomos de oxigénio, assumindo a realização das análises em base anidro e considerando a sua fórmula ideal como  $K_2Al_4(Al_2Si_6O_{20})(OH,F)_4$  (Deer *et al.*, 1992).

As fórmulas estruturais médias das sericites em função da respetiva zona de alteração hidrotermal são as seguintes:

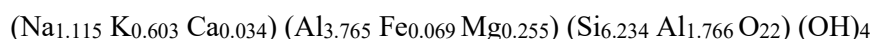
Sericites em zona de alteração do tipo 1 (clorítica):



Sericites em zona de alteração do tipo 2 (sericítica):



Sericites em zona de alteração do tipo 3 (paragonítica):



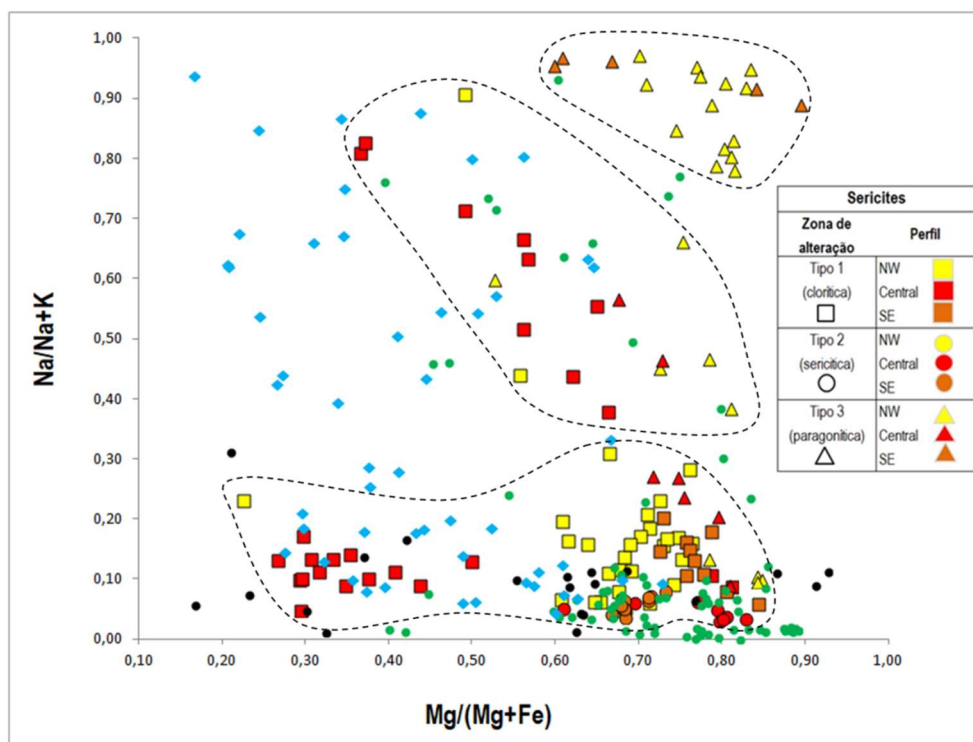
A distribuição das análises de sericites no diagrama da figura 6.6 permite delinear tendências geoquímicas quando as razões composicionais  $Na/(Na+K)$  e  $Mg/(Mg+Fe)$  são colocadas em confronto. Existe um grupo de sericites de zonas mais proximais (zonas 1 e 2, clorítica e sericítica, respetivamente) que tendem, indistintamente, a apresentar composições fortemente potássicas, com reduzida molécula paragonítica. Evidenciam igualmente uma variação interessante quanto ao seu teor em ferro e magnésio, expresso pela razão  $Mg/Mg+Fe$ . As sericites da zona clorítica (Tipo 1) tendem a apresentar composições mais ricas em ferro, sobretudo as que representam as fácies de alteração mais proximais relativamente ao eixo do sistema mineralizante – perfil Central –, facto que é interpretado como refletindo maior proximidade aos corredores de circulação de fluidos mineralizantes. À medida que nos afastamos da zona mais interna do sistema – perfis NW e SE –, o que, texturalmente, também se manifesta por uma diminuição da quantidade de veios mineralizados, observa-se uma diminuição do teor em ferro com aumento da razão  $Mg/Mg+Fe$ , decorrente do declínio da influência da química dos fluidos mineralizantes e uma natural maior influência da química da rocha encaixante.

No outro extremo composicional situa-se um grupo de análises de sericites associadas a uma zona com vincado metassomatismo sódico. Aqui, as sericites apresentam uma forte componente paragonítica ( $Na/(Na+K) > 0.90$ ), chegando mesmo a apresentar composições de paragonites quase puras. O enriquecimento progressivo em Na na estrutura das sericites constitui um comportamento frequentemente observado neste tipo de jazigos, à medida que nos afastamos do eixo do sistema hidrotermal. Estas análises correspondem à zona de alteração do Tipo 3 – ultra-periférica – identificada em Estação, como vimos, a teto da massa mineralizada.

De modo aparentemente dissentâneo com a zonalidade acima descrita, observa-se igualmente um grupo de resultados analíticos que exibem um comportamento composicional intermédio entre os dois grupos previamente descritos, incluindo análises de sericites analisadas em amostras da Zona 1, com composições significativamente enriquecidas em sódio. Texturalmente, estas sericites substituem os filossilicatos mais precoces (clorite e/ou sericite potássica) nas zonas mais internas do sistema. São, portanto, interpretadas como correspondendo a uma geração mais tardia de sericite que representa a evolução termoquímica do sistema, com “colapso” das fácies de alteração mais externas sobre o seu núcleo durante o percurso retrógrado do processo hidrotermal mineralizante (Fig. 5.2B), tal como foi anteriormente descrito em outros jazigos da FPI (*e.g.*, Corvo, Relvas, 2000; Lombador, Carvalho, 2016). A composição da sericite constitui um valioso indicador da zonalidade espacial das fácies de alteração

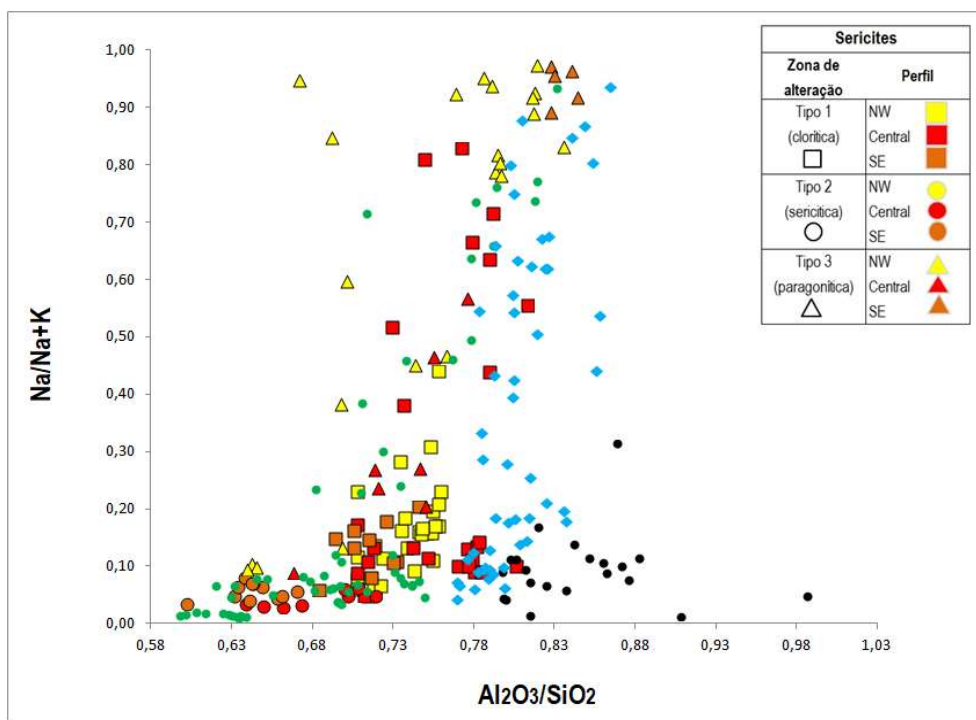


a muro do jazigo, mas deve ser interpretada tendo em atenção que essa zonalidade regista igualmente, em sobreposição, a evolução no tempo das condições termoquímicas do sistema.

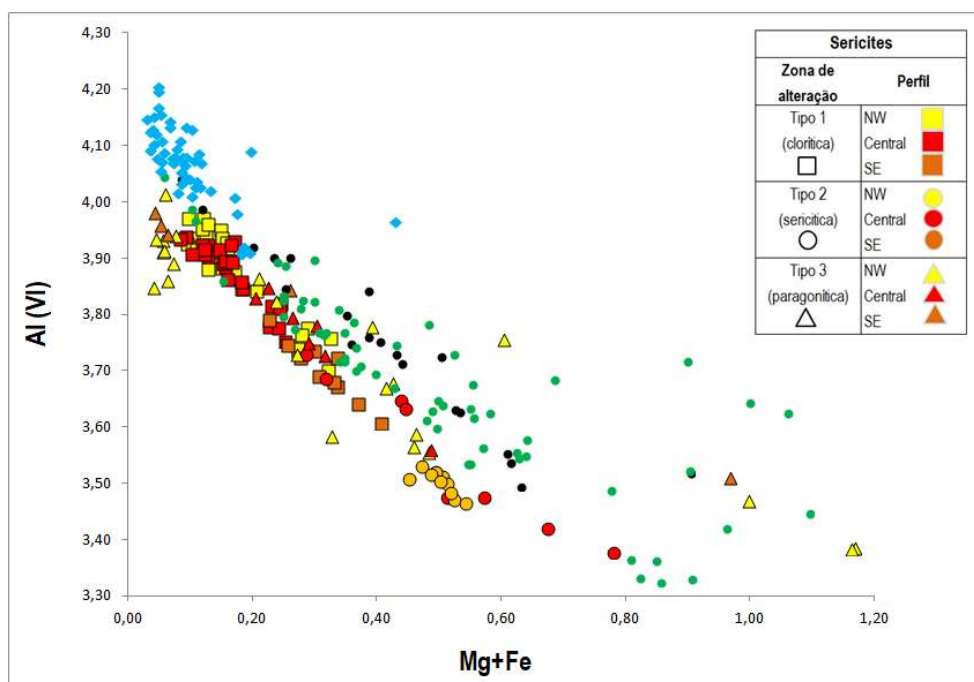


**Figura 6.6** – Diagrama de correlação de  $Mg/(Mg+Fe)$  vs  $Na/(Na+K)$  em função de 2 parâmetros associados: zona de alteração e perfil. Projeção e comparação com dados de Feitais (Barriga, 1983) - ●; Gavião (Relvas, 1991) - ●; Neves Corvo (Relvas, 2000) - ◆

No diagrama da figura 6.7 são comparadas as razões  $Na/(Na+K)$  e  $Al_2O_3/SiO_2$  das sericites analisadas, com os resultados obtidos por Barriga (1983), Relvas (1991) e Relvas (2000) em Feitais, Gavião e Neves Corvo, respetivamente. A projeção põe em evidência o facto das sericites analisadas em Feitais representarem exclusivamente termos ricos em potássio relativamente proximais (Zona 2), ao passo que em Estação, Gavião e Neves Corvo o intervalo de variação das razões  $Na/(Na+K)$  é bastante mais alargado pois nele se fazem representar, em qualquer dos depósitos, sericites provenientes de um maior espectro de fácies e condições de alteração (Zonas 1, 2, 3 e sericites sódicas mais tardias). Importa realçar que as sericites analisadas em Neves Corvo (Relvas, 2000) e em Feitais (Barriga, 1983) mostram um enriquecimento relativo em alumínio relativamente às sericites das massas de Gavião e Estação, facto que poderá indiciar interações hidrotermais caracterizadas por condições mais intensas (maior temperatura/menor pH) naqueles dois sistemas mineralizantes. Esta constatação não é surpreendente relativamente a Neves Corvo (e.g., Relvas et al., 2006a). Contudo, pode ser objeto de interessantes ilações no que se refere a Feitais, pois abre a porta à possibilidade daquele depósito se distinguir da massa de Estação no que se refere às características dos sistemas hidrotermais mineralizantes que lhes deram origem.



**Figura 6.7** – Diagrama de correlação de  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}/\text{Na}+\text{K}$  em função de 2 parâmetros associados: zona de alteração e perfil. Projeção e comparação com dados de Feitais (Barriga, 1983) - ●; Gavião (Relvas, 1991) - ●; Neves Corvo (Relvas, 2000) - ◆



**Figura 6.8** Diagrama de correlação de  $\text{Mg}+\text{Fe}$  vs  $\text{Al}^{\text{VI}}$  em função de 2 parâmetros associados: zona de alteração e perfil. Projeção e comparação com dados de Feitais (Barriga, 1983) - ●; Gavião (Relvas, 1991) - ●; Neves Corvo (Relvas, 2000) - ◆

As sericites do jazigo de Estação apresentam composições tipicamente fengíticas. A análise da composição média das sericites, segundo a zona de alteração, indica que, na zona de alteração do tipo 2, as sericites apresentam forte carácter fengítico, com enriquecimento em Si nas posições tetraédricas ( $\text{Si}/\text{Al}^{\text{IV}}_{\text{med}}=4.290$ ;  $\text{Si}_{\text{med}}=6.488$ ; base 22 O) e com moléculas celadónicas moderadas por substituição tschermakítica nas posições octaédricas ( $\text{Mg}, \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Al}^{\text{VI}}$ , de forma a garantir o equilíbrio electrostático (Velde, 1965 *in* Relvas, 1991; Deer *et al.*, 1992). Estas sericites correspondem como vimos a sericites com mais baixos valores em Na/Na+K, ou seja, fortemente potássicas. Relativamente às sericites presentes nas zonas de alteração do tipo 1 e 3, em termos médios, obtiveram-se composições fengíticas menos pronunciadas ( $\text{Si}/\text{Al}^{\text{IV}}_{\text{med}}=3.743$ ;  $\text{Si}_{\text{med}}=6.313$ ; base 22 O e  $\text{Si}/\text{Al}^{\text{IV}}_{\text{med}}=3.743$ ;  $\text{Si}_{\text{med}}=6.313$ ; base 22 O, respetivamente) com afastamento de composições celadónicas. Estas sericites são em termos médios, relembre-se, bem mais ricas em Na do que as da zona 2, embora por razões distintas: as da zona de alteração do tipo 3 são precoces, mas distais; enquanto as da zona de alteração do tipo 1 ocorrem numa posição central, mas são expressão de uma alteração retrógrada mais tardia.

No diagrama da figura 6.8 é possível discriminar as sericites de zonas mais nucleares (alteração clorítica) das restantes (zonas sericítica e paragonítica). Numa segunda análise é possível destrinçar um conjunto de análises (paragonites), num segundo *trend*, com a mesma inclinação, mas desfasado da reta principal. O declive da reta principal de correlação linear indica-nos que estamos perante fases cristalinas discretas de moscovites (sericite), sendo o somatório aproximadamente estequiométrico ( $\text{Al}^{\text{VI}} + (\text{Mg}+\text{Fe})=4$ ). É sabido que a solução sólida entre os termos extremos moscovite e paragonite não é completa (e.g. Guidotti, 1984). Sabe-se ainda que, apesar das paragonites serem sobretudo comuns em terrenos metamórficos de grau metamórfico intermédio a alto, em condições P-T mais baixas podem ocorrer igualmente, principalmente como interestratificados sericite-paragonite (Guidotti, 1984; Guidotti e Sassi, 1998). As análises de paragonites apresentadas neste trabalho correspondem a composições intermédias entre os dois extremos mais puros. O facto de se observarem valores da razão Na/Na+K num intervalo de variação contínua até termos muito sódicos (percorrendo todo o intervalo de imiscibilidade entre sericites e paragonites), sugere que não estejamos na presença de fases minerais discretas, mas sim de interestratificados sericite-paragonite (*cf.* Relvas, 1991, Relvas *et al.*, 2006a). A variação contínua nos valores da razão Na/Na+K é assim interpretada como correspondendo apenas a uma continuidade nos resultados analíticos obtidos, sem com isso significar, naturalmente, continuidade estequiométrica na solução sólida moscovite-paragonite.

**Tabela 6.2** – Estatística descritiva das sericites analisadas no Jazigo de Estação em função da respetiva zona de alteração hidrotermal – mineralizante

<b>Zona de Alteração</b>	<b>Clorítica</b>					<b>Sericítica</b>					<b>Paragonítica</b>				
<b>N</b>	<b>84</b>					<b>43</b>					<b>55</b>				
	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
SiO <sub>2</sub>	47,76	48,09	1,21	49,91	44,75	48,52	48,43	0,94	51,10	46,77	47,64	47,44	2,23	55,30	44,10
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,05	0,05	0,28	0,00	0,10	0,07	0,08	0,25	0,00	0,03	0,02	0,04	0,12	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,54	35,79	1,27	39,60	32,44	31,97	31,55	1,12	34,60	30,75	35,87	35,99	2,56	39,47	29,79
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06	0,05	0,02	0,11	0,02	0,06	0,05	0,02	0,10	0,02	0,06	0,05	0,03	0,17	0,01
FeO	0,66	0,57	0,36	2,27	0,19	1,23	1,31	0,29	1,60	0,53	0,63	0,53	0,61	2,88	0,07
MnO	0,01	0,00	0,01	0,05	0,00	0,02	0,02	0,02	0,08	0,00	0,02	0,01	0,02	0,10	0,00
MgO	0,60	0,48	0,36	1,70	0,10	1,83	1,79	0,47	3,09	1,15	1,30	1,02	1,30	4,83	0,15
CaO	0,09	0,06	0,08	0,34	0,00	0,05	0,04	0,03	0,10	0,01	0,25	0,21	0,17	0,62	0,02
Na <sub>2</sub> O	1,45	0,94	1,39	6,04	0,29	0,37	0,36	0,11	0,59	0,21	4,44	4,71	2,46	8,14	0,60
K <sub>2</sub> O	7,77	8,45	2,10	10,23	0,92	10,30	10,34	0,33	10,73	9,54	3,56	1,92	3,25	9,40	0,18

### 6.1.3. Carbonatos

Os carbonatos são minerais bastante frequentes nas paragêneses de alteração dos depósitos minerais da FPI, em proporções que variam entre quantidades vestigiais ou muito subordinadas e associações mineralógicas secundárias de expressão muito significativa em certos jazigos (*e.g.* Tharsis; Tornos *et al.*, 2008). No jazigo de Estação (ver Cap. 5) os carbonatos distribuem-se de forma regular, em associação com outros minerais de alteração, evidenciando uma tendência de aumento no sentido de zonas mais distais e profundas do sistema mineralizante.

Os resultados das análises químicas relativas aos carbonatos apresentam-se tabelados de forma completa no anexo IV.3, sendo resumidos através dos seus valores médios e intervalos estatísticos na tabela 6.3, e graficamente projetados nas figuras 6.9 e 6.10. A metodologia de tratamento das análises de carbonatos começou por confirmar as proporções estequiométricas entre os seus principais catiões, verificando-se não existir um excesso de Fe nas análises. Assim, as fórmulas estruturais dos carbonatos puderam ser calculadas muito adequadamente assumindo estequiometria. As análises consideradas válidas – após exclusão de algumas cujo valor de CO<sub>2</sub> foi considerado excessivo (> 50 wt%) – foram alvo do mesmo tipo de agrupamento estatístico já anteriormente realizado para os filossilicatos.

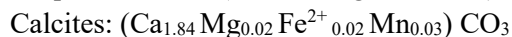
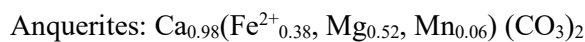
Sabe-se que os carbonatos facilmente recristalizam e homogeneizam do ponto de vista químico (*cf.* Peter e Scott, 1998; Shikazokno *et al.*, 1998), e que são frequentemente remobilizados por processos metalogenéticos ou tectono-metamórficos (*e.g.* Relvas, 2000; Fernandes, 2011; Carvalho, 2016), dificultando a interpretação de relações texturais e paragenéticas entre as suas diferentes famílias e relativamente aos restantes minerais de alteração a que se associam. Neste sentido, revelou-se de extrema complexidade o estabelecimento seguro de uma relação entre as texturas observadas e as composições químicas das espécies de carbonatos identificados pela microsonda.

Tem sido referida e estudada a presença de siderites nas mais variadas mineralizações da FPI (*e.g.* Relvas, 2000; 2006a; Tornos *et al.*, 2008; Carvalho, 2016). Estes carbonatos de ferro ocorrem muito frequentemente associados a fases tardias dos sistemas mineralizantes, substituindo as paragêneses filossilicatadas mais precoces ou ocorrendo em veios que, embora deformados, são posteriores aos veios contemporâneos das primeiras fases de formação dos *stockworks*. Ainda que tardios, ou distais relativamente ao episódio mineralizante, esta geração de carbonatos é seguramente a mais precoce relativamente a todos os restantes carbonatos que, com eles, tantas vezes coexistem. O estudo das siderites naqueles depósitos permitiu pôr em evidência a evolução dos fluidos mineralizantes, no tempo de vida dos respetivos sistemas. Como será posto em evidência adiante, em Estação a ocorrência de siderite fina na matriz foi identificada ao microscópio e inferida com base na composição química de rocha total de algumas amostras. No entanto, não foi possível obter análises de siderite por microsonda eletrónica dada a sua reduzida granularidade e íntima relação com os filossilicatos da matriz.

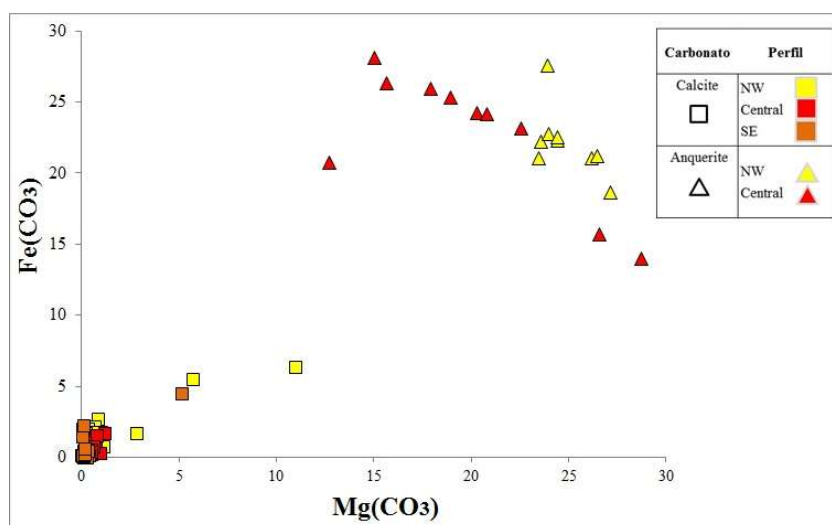
Nas amostras de Estação, a verdade é que o conjunto de análises obtidas permitiu apenas identificar dois outros representantes desta classe mineralógica: anquerites e calcites. Estes carbonatos apresentam-se associados de forma variável a paragêneses de clorite + sulfuretos + quartzo. Ocorrem predominantemente em veios tectónicos ou em corredores de cisalhamento, e, de forma mais subtil, na matriz, neste caso, aparentemente associados ao percurso retrógrado da evolução termoquímica do sistema (*e.g.* Fig. 5.2B). Estes carbonatos exibem diversidade textural, desde pequenos agregados (raros) de reduzida cristalinidade até cristais de maiores dimensões e fortemente recristalizados, ocorrendo ao preenchimento de veios com expressão variável (~ 400 µm no caso das anquerites e > 400 µm em relação às calcites).

A fórmula estrutural dos carbonatos foi calculada na base de 6 oxigénios, considerando a sua unidade estrutural essencial o ião (CO<sub>3</sub>)<sup>2-</sup> (Deer *et al.*, 1992).

As fórmulas estruturais médias das duas espécies de carbonatos apresentam-se da seguinte forma:



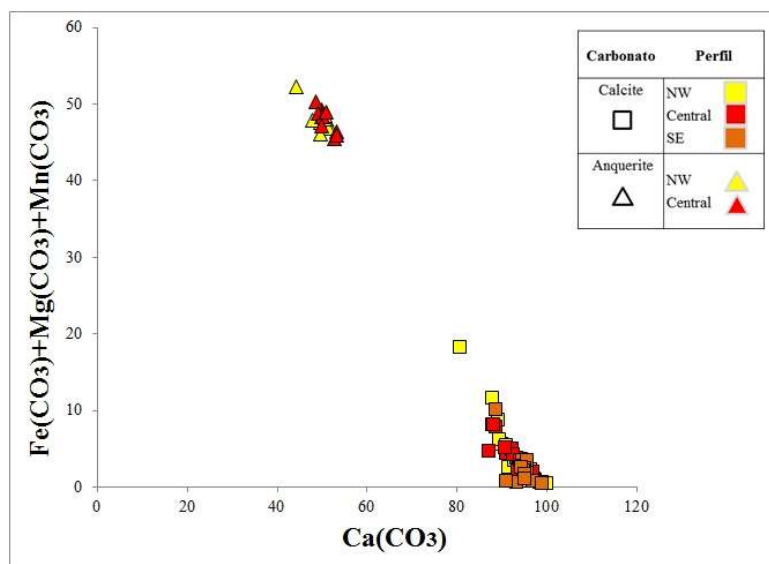
Os diagramas das figuras 6.9 e 6.10 representam projeções dos resultados analíticos obtidos em calcites e ankerites do jazigo de Estação, discriminados em ordem ao perfil correspondente às várias amostras. Na tabela 6.3 apresentam-se, para estes dois carbonatos, os valores médios, medianas e desvios-padrão, das análises correspondentes. No diagrama 6.9, verifica-se que, com poucas exceções, as calcites analisadas exibem muito pronunciada homogeneidade química. As ankerites, por seu turno, segregam-se entre si com um *trend* de correlação linear inversa (devido à ocupação da mesma posição na estrutura por parte do Fe e do Mg).



**Figura 6.9** – Diagrama de correlação de  $\text{Mg}(\text{CO}_3)$  vs  $\text{Fe}(\text{CO}_3)$  de ankerites e calcites, em função do perfil associado

Na *trend* composicional formado destaca-se de forma clara o maior teor em Fe das ankerites mais proximais ao eixo do sistema mineralizante (perfil Central), em oposição a outras relativamente mais magnesianas (e menos ferrosas) que se distribuem mais distalmente (perfil NW). Este comportamento geoquímico no distanciamento relativo ao eixo do sistema, é semelhante ao que se observa nas sericites quando analisadas as suas composições em Fe-Mg. Estas circunstâncias, indiciam que, embora tardia (e de forma menos expressiva do que se observa noutros depósitos relativamente à siderite), a ocorrência de anquerite em Estação deverá corresponder ainda a uma manifestação de atividade hidrotermal mineralizante, refletindo a evolução do quimismo e temperatura do fluido do sistema hidrotermal mineralizante no espaço e no tempo. Esta mesma circunstância foi posta em evidência por Fernandes (2011), no jazigo do Lousal, que observou que o relativo decréscimo da temperatura e acidez do fluido mineralizante ao longo do tempo de vida do sistema hidrotermal e, por conseguinte, a “incompleta lixiviação do Ca e o Mn”, concorrem para a precipitação de anquerite em zonas mais distais ou em eventos mais tardios. Adicionalmente, os relativamente elevados valores da molécula rodocrosítica na anquerite (tabela 6.3) apontam para um ambiente de deposição um pouco mais oxidante, num claro afastamento das condições mineralizantes mais extremas e redutoras.

O diagrama da figura 6.10 permite individualizar dois *clusters* que correspondem, naturalmente, aos dois tipos de carbonatos identificados - ankerites vs. calcites.

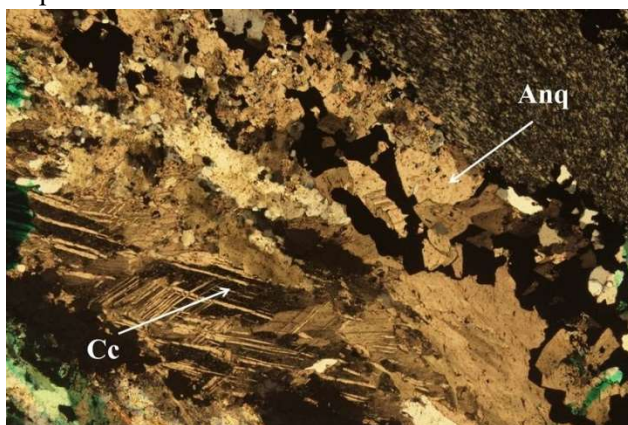


**Figura 6.10** – Diagrama de correlação de  $Mg(CO_3)$  vs  $Fe(CO_3)+Mg(CO_3)+Mn(CO_3)$  de ankerites e calcites, em função do perfil associado

A abundância de análises de calcite nas amostras estudadas evidencia o caráter mais tardio da maioria dos carbonatos do jazigo. A calcite ocorre associada a veios e fraturas que cortam as paragéneses hidrotermais mineralizantes. A sua presença é interpretada como estando relacionada com fluidos tectono-metamórficos, geralmente ricos em Ca, que nada têm a ver com a geração dos *stockworks* e/ou mineralizações sulfuretadas maciças. Estes fluidos podem, no entanto, assumir um papel importante na remobilização e redistribuição de metais através de processos exclusivamente tectônicos.

Ainda que não tenha sido possível estabelecer relações texturais vs. composicionais muito sólidas que permitissem aprofundar o conhecimento da evolução termo-química do sistema mineralizante, foi possível, no entanto, e de forma pontual, apreciar relações texturais entre as diversas fases minerais de alteração e as espécies de carbonatos identificados que permitem trazer um pouco de luz sobre este tema.

Na figura 6.11 (amostra ES13002-59) observa-se o contacto entre uma massa clorítica e um veio mineralizado (quadrante superior direito). As análises obtidas permitem



**Figura 6.11** – Fotomicrografia da amostra ES13002-59 evidenciando a evolução do fluido hidrotermal em função da química dos carbonatos

determinar que temos um veio precoce, no encosto com a clorite, constituído por uma paragénesis de quartzo + sulfuretos + carbonatos (ankerite – Anq). Observa-se depois uma transição lateral para uma paragénesis mais tardia de quartzo + carbonatos (calcite – Cc), através da reabertura central do veio mineralizado. Temos assim uma primeira fase tardi-metalogenética com precipitação de quartzo, sulfuretos, alguma clorite e ankerite. A reabertura e precipitação da segunda paragénesis, na qual predomina a calcite em cristais bem desenvolvidos e maclados, juntamente com o quartzo e sem a presença de sulfuretos, reflete um evento mais tardio, muito provavelmente tectono-metamórfico.



**Tabela 6.3** – Estatística descritiva dos carbonatos analisados (calcites e anquerites)

<b>Carbonato</b>	<b>Calcite</b>					<b>Anquerite</b>				
<b>N</b>	108					38				
	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b>Máximo</b>	<b>Minimo</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b>Máximo</b>	<b>Minimo</b>
CO <sub>2</sub>	45,60	45,53	0,92	48,62	43,72	45,30	45,34	0,87	46,93	43,76
MgO	0,39	0,16	0,82	5,24	0,01	10,64	11,28	2,13	13,75	6,07
CaO	52,26	52,71	1,96	55,99	45,15	28,14	28,17	1,13	29,77	24,85
FeO	0,68	0,39	0,80	3,94	0,00	13,94	13,98	2,27	17,43	8,65
MnO	1,07	0,80	0,98	4,36	0,03	1,99	1,94	1,79	7,40	0,51
Mg(CO <sub>3</sub> )	0,81	0,33	1,71	10,97	0,01	22,25	23,60	4,47	28,76	12,71
Ca(CO <sub>3</sub> )	93,27	94,07	3,50	99,92	80,59	50,22	50,27	2,02	53,14	44,35
Fe(CO <sub>3</sub> )	1,09	0,63	1,30	6,35	0,00	22,47	22,54	3,66	28,10	13,95
Mn(CO <sub>3</sub> )	1,74	1,29	1,59	7,07	0,05	3,23	3,15	2,91	11,99	0,83

#### 6.1.4. Feldspatos

As análises químicas correspondentes a feldspatos, obtidas por microsonda eletrônica, encontram-se tabeladas de forma completa no anexo IV.4. A reduzida quantidade de análises válidas obtidas, justificou que se apresentassem uma a uma, na sua totalidade, sem agrupamento por médias.

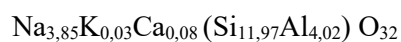
Como seria de esperar face à intensidade da alteração hidrotermal a que estas rochas foram sujeitas, os feldspatos ígneos encontram-se fortemente metassomatizados e variavelmente substituídos, correspondendo as análises efetuadas, na sua grande maioria, senão na sua totalidade, a relíquias de fenocristais pré-existent. Todos os feldspatos analisados são plagioclases, correspondendo a termos vincadamente sódicos – albites. As plagioclases ígneas sofreram vários graus de sericitização e de albitização, por perda da sua molécula anortítica primária. Ainda assim, algumas plagioclases ígneas encontram-se razoavelmente preservadas, preservando um teor apreciável em Ca ( $\text{CaO}_{\text{med.}}=0,79\%$ ;  $\text{CaO}_{\text{max.}}=1,70\%$ )

O grau de alteração destes minerais está intimamente associado à sua proximidade ao eixo do sistema mineralizante. Quanto maior a proximidade à zona nuclear, maior a severidade das condições de alteração hidrotermal (temperatura, acidez e caráter redutor) que caracterizam o processo de interação entre o fluido e a rocha. Esta realidade traduz-se, desde logo, na inexistência sequer de relíquias de plagioclase em amostras provenientes da zona de alteração do tipo 1 (clorítica).

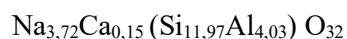
À medida que nos afastamos para zonas mais periféricas, caracterizadas por condições de alteração progressivamente menos intensas (*e.g.* menor temperatura e pH mais elevado), que correspondem às zonas sericítica e paragonítica, as relíquias de plagioclase surgem de forma mais abundante, tendo por isso sido possível obter um número razoável de análises químicas válidas naquelas zonas. As plagioclases provenientes de amostras colhidas nas zonas de alteração 2 e 3 apresentam composições apenas ligeiramente distintas. O grupo de plagioclases da zona de alteração do tipo 2 apresenta um grau de remoção do Ca mais efetivo e uma sericitização mais pronunciada. Nestas análises o teor em K é muito baixo, mas, ainda assim mensurável, sendo mais provável que tal se deva à existência de misturas de albite-sericite e respetiva “contaminação” da análise, do que a um efetivo registo de molécula ortósica na plagioclase. Em sentido contrário, com o progressivo aumento da distância ao eixo do sistema e atingidas zonas mais periféricas – zona 3 –, as relíquias de plagioclase apresentam uma ligeiramente menor remoção da sua molécula anortítica, consequência de uma albitização incompleta e, por outro lado, o processo incipiente de sericitização torna quase indetetáveis as concentrações de K nestes cristais.

A variabilidade química das plagioclases analisadas no jazigo de Estação é, deste modo, mesmo muito subtil, mas, ainda assim, encontra uma vaga expressão nas fórmulas químicas médias abaixo apresentadas, na base de 32 oxigénios (Deer *et al.*, 1992).

Plagioclases em zona de alteração do tipo 2 (sericítica):



Plagioclases em zona de alteração do tipo 3 (paragonítica):



## **7. Química de Rocha Total**

---

### **7.1. Introdução**

No capítulo 4 foram descritas de forma sucinta as técnicas e os métodos analíticos associados à obtenção dos dados geoquímicos de rocha total, de um conjunto de 30 amostras do jazigo de Estação, devidamente selecionadas para o efeito. Estas amostras, como então referido, incluem quer rochas félsicas pouco mineralizadas (e, em geral, menos alteradas), quer outras variavelmente alteradas e mineralizadas. Procurou-se, portanto, organizar e discutir os resultados obtidos de geoquímica de rocha total em ordem a esses dois grupos de amostras, por forma a poder, no primeiro caso, colocar o ênfase na classificação e caracterização da sequência vulcânica encaixante da massa de Estação relativamente aos seus protólitos primários, e, no segundo caso, enfatizar os aspetos geoquímicos que se constituem como assinaturas dos processos secundários de alteração hidrotermal e mineralização. Uma vez realizada a caracterização paragenética e textural (Cap. 5) e mineralógica (Cap. 6) do conjunto de amostras colhidas – a partir das quais se baseou a seleção deste conjunto de amostras –, o estudo apresentado neste capítulo integra e procura correlacionar a informação geoquímica obtida, com as observações e ilações produzidas naqueles capítulos.

Os resultados analíticos de geoquímica de rocha total encontram-se expressos nas tabelas 7.1 (amostras menos mineralizadas) e 7.2 (amostras mais alteradas e mineralizadas) e contemplam uma gama relativamente extensa e completa de elementos maiores, expressos sob a forma de óxidos (wt%), e de elementos-traço, em ppm, entre os quais se incluem os elementos do Grupo das Terras Raras (Lantanídeos). Os resultados tabelados representam assim dois conjuntos de amostras cujas características geoquímicas, estudadas separadamente, permitiram a definição dos tipos de rochas originais no jazigo de Estação, bem como a compreensão dos mecanismos associados à sua mineralização. A mobilidade relativa de elementos como o Ca, Na, K, Fe e Mg durante os processos de alteração hidrotermal, permitiram que o estabelecimento de razões e respetivas projeções gráficas, conduzissem a relevantes conclusões que também se apresentam de seguida.

### **7.2. Rochas vulcânicas félsicas pouco mineralizadas**

Ainda que todas as amostras de rochas vulcânicas analisadas no contexto deste estudo tenham sido variavelmente afetadas por alteração mineralizante, os resultados analíticos relativos a amostras pouco mineralizadas de Estação puderam ser utilizados para evidenciar características geoquímicas das rochas originais, recorrendo nomeadamente a razões entre elementos razoavelmente imóveis, pois, nestas amostras, as concentrações absolutas destes elementos não foram dramaticamente afetadas pela existência de uma fração sulfureta proeminente. Os dados apresentados na tabela 7.1 remetem, portanto, para um conjunto de oito amostras com baixa concentração em enxofre ( $S < 2\%$ ,  $S_{med.} = 0,56\%$ ). Na tabela, as amostras foram organizadas primariamente em ordem à sua classificação petrogenética, de acordo com a nomenclatura proposta por Barrett *et al.* (2008) para os riólitos da sequência vulcânica encaixante do campo mineralizado de Aljustrel (*cf.* se conclui adiante). Para cada grupo de riólitos definido, as amostras foram organizadas em ordem à sua classificação quanto à zonalidade de alteração hidrotermal previamente definida para o jazigo de Estação (Tipos 1, 2 e 3; ver capítulo 5) e à sua posição nos perfis de amostragem (NW, Central e SE; ver capítulo 4). Complementarmente, é apresentado o índice de alteração de Ishikawa *et al.* (1976), calculado para cada amostra e discutido mais adiante.

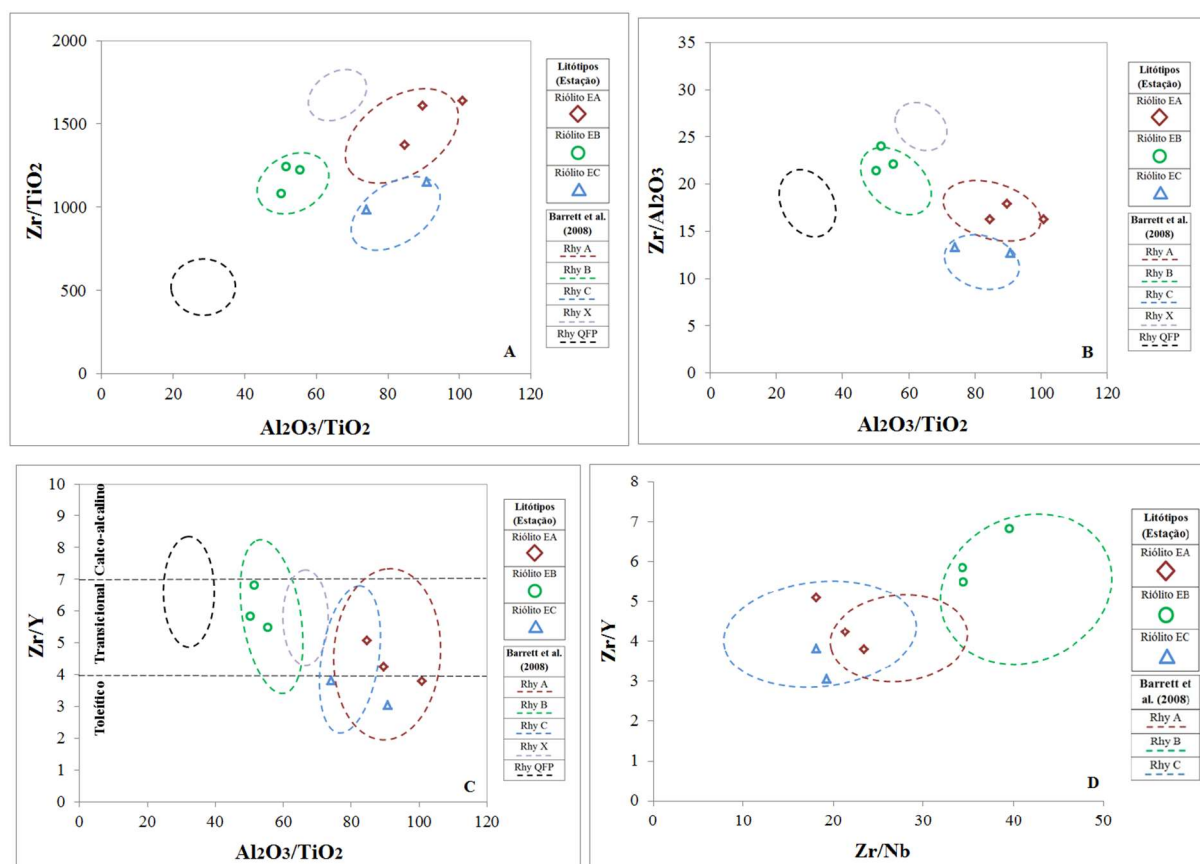
Os teores em sílica das rochas analisadas são consistentes com as análises de rochas vulcânicas félsicas da FPI desde há muito reportadas por vários outros autores (*e.g.*, Munhá, 1983b; Relvas, 1991; Thieblemont *et al.*, 1998; Leistel *et al.*, 1998; Barrett *et al.*, 2008). A sílica (SiO<sub>2</sub>) e a alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) apresentam gamas de valores entre 61,0<(SiO<sub>2</sub>)<75,7 e 10,15<(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<19,1 respetivamente, consistentes com a sua classificação como riólitos, embora as respetivas razões permitam distinguir intervalos de variação distintos para diferentes grupos de amostras – 3,36<[(SiO<sub>2</sub>)/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)]<4,59 e 6,26<[(SiO<sub>2</sub>)/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)]<6,80 –, sugerindo podermos estar perante mais do que uma família de riólitos.

**Tabela 7.1** – Análises de geoquímica de rocha total das rochas vulcânicas félsicas pouco mineralizadas de Estação

Litótipos		Riólito EA			Riólito EB			Riólito EC	
Tipo de alteração dominante		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 3	Tipo 2	Tipo 3
Índice de alteração		98,8	98,2	51,3	60,2	59,5	47,1	78,1	61,0
Perfil		Central	Central	NW	SE	SE	SE	Central	SE
Ref. da Amostra		E12	E13	E16	E30	E24	E29	E1	E23
		ESI3002-58	ESI3002-67	ESI3001-17	ESI2001-37	ESI2001-17	ESI2001-34	ESI3002-10	ESI2001-13
SiO <sub>2</sub>	%	69	75,7	74,5	62,8	71,6	67,5	61	65,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	10,15	12,1	11,65	18,3	15,6	19,1	18,15	17,75
FeO	%	7,93	3,93	2,44	2,78	2,86	1,37	4,79	2,03
MnO	%	0,15	0,07	0,06	0,02	0,02	0,01	0,1	0,03
MgO	%	7,33	3,23	0,71	4,18	3,01	0,85	4,84	4,98
CaO	%	0,04	0,03	3,68	2,34	0,84	0,56	1,66	2,18
Na <sub>2</sub> O	%	0,05	0,08	0,15	2,52	2,21	4,43	0,65	1,85
K <sub>2</sub> O	%	0,28	2,65	3,33	3,18	1,47	3,59	3,42	1,33
TiO <sub>2</sub>	%	0,12	0,12	0,13	0,33	0,31	0,37	0,2	0,24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,01	0,02	0,01	0,04	0,03	0,04	0,03	0,06
BaO	%	0,01	0,03	0,26	0,04	0,02	0,09	0,58	0,03
(LOI)	%	4,57	3,09	2,5	3,67	3,42	2,33	4,2	3,9
S	%	0,47	0,41	1,98	0,16	0,98	0,43	0,01	0,04
(CO <sub>2</sub> )	%	0,07	0,07	3,56	1,87	0,51	0,33	1,72	1,28
Li	ppm	80	40	<10	90	110	20	130	160
Rb	ppm	9,9	122	120,5	141	99	151,5	283	140,5
Cs	ppm	1,24	7,35	17,9	36,4	21,3	40,7	71,9	29,1
Sr	ppm	6,4	5,6	30	106	159	118,5	84	153
Ba	ppm	72,6	274	2250	398	195,5	841	5180	271
Sc	ppm	8	10	10	7	7	10	9	8
Y	ppm	32,4	51,6	49,2	73,7	57,2	67,3	75,4	61,9
Zr	ppm	165	197	209	404	334	459	231	237
Hf	ppm	5	6	6,8	11,6	9,8	13,2	7,8	7,5
Th	ppm	11,3	12,35	11,9	17,1	15,05	19,9	19,85	19,9
V	ppm	7	<5	<5	11	23	21	10	10
Nb	ppm	9,1	8,4	9,8	11,7	9,7	11,6	12	13,1
Ta	ppm	0,7	0,7	0,7	1	0,8	1,1	1	1,1
Cr	ppm	<10	10	30	10	<10	10	10	<10
Mo	ppm	1	<1	<1	<1	16	<1	<1	<1
W	ppm	3	3	4	1	2	4	3	1
U	ppm	2,91	2,86	2,99	5,54	14,45	11,25	1,6	0,7
Co	ppm	11	3	1	2	6	1	1	5
Ni	ppm	<1	<1	<1	<1	34	<1	6	9
Cu	ppm	573	155	32	17	68	30	<1	114
Ag	ppm	<0,5	<0,5	2,2	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5
Au	ppm	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,013	<0,005	<0,005
Zn	ppm	108	74	1990	145	146	524	82	80
Cd	ppm	<0,5	<0,5	2,1	<0,5	<0,5	1,1	<0,5	<0,5
Hg	ppm	0,158	0,1	>25,0	0,429	2,13	5,58	4,6	1,51
Ga	ppm	18,1	20,3	13,3	24	22,5	34,1	28,5	27,1
In	ppm	0,54	0,43	0,12	0,1	0,08	0,21	0,2	0,16
Tl	ppm	1,2	0,08	0,42	0,59	3,5	1,57	6,85	0,28
Ge	ppm	0,21	0,05	<0,05	0,22	0,08	0,19	0,23	0,11
Sn	ppm	6	29	7	7	6	14	9	8
Pb	ppm	3	10	351	20	44	60	<2	23
As	ppm	99,4	15,3	>250	20,3	91,5	146,5	2,4	16
Sb	ppm	6,51	1,42	171,5	4,83	3,35	7,98	0,41	0,8
Bi	ppm	1,78	1,06	0,28	0,24	1,66	0,63	0,28	5,68
Te	ppm	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01
Se	ppm	1,3	1,1	3,4	1,3	1,1	1,1	0,8	1,5
La	ppm	27,5	30,9	33,9	38,4	36,7	45	62,9	41,2
Ce	ppm	61,2	69,3	75,4	81,8	78,2	97,5	133,5	89,2
Pr	ppm	7,27	8,43	9,08	9,67	9,3	11,35	15,35	10
Nd	ppm	29,6	33,3	37	39,8	36,7	45,1	58,7	38
Sm	ppm	6,72	7,94	8,6	9,7	8,96	10,9	13,6	9,26
Eu	ppm	0,44	0,87	1,08	1,05	1,03	1,44	1	0,7
Gd	ppm	5,64	8,05	8,62	9,83	9,29	10,8	12,8	9,12
Tb	ppm	0,91	1,38	1,47	1,72	1,54	1,89	2,1	1,72
Dy	ppm	5,57	9,06	9,43	11,4	9,91	12,05	13,35	11,55
Ho	ppm	1,18	1,9	1,97	2,55	2,2	2,5	2,75	2,43
Er	ppm	3,71	5,9	5,63	7,65	6,2	6,52	8,29	6,81
Tm	ppm	0,62	0,85	0,82	1,14	0,9	0,86	1,2	1,03
Yb	ppm	4,17	5,38	5,41	7,74	6,17	5,04	7,89	6,8
Lu	ppm	0,57	0,83	0,86	1,18	0,97	0,72	1,25	1
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		6,80	6,26	6,39	3,43	4,59	3,53	3,36	3,70

É sabido como alguns elementos maiores como o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e o  $\text{TiO}_2$ , e uma série de elementos menores (*e.g.* Zr, Y, Hf, Ta, Nb), considerados de elevado potencial iónico e designados por HFSE (*High-Field-Strength Elements*), têm um comportamento razoavelmente imóvel durante os processos de formação de mineralizações de sulfuretos maciços, sendo, por isso, frequentemente utilizados, em contextos de alteração hidrotermal, na determinação dos protólitos originais e respectivas assinaturas primárias (*e.g.* Relvas, 1991; McLean *et al.*, 1993; Barrett *et al.*, 2008; Carvalho, 2016). Ainda assim, por vezes, em condições de elevada intensidade dos processos metassomáticos (amostras fortemente alteradas/mineralizadas), nem sempre é possível assegurar uma verdadeira imobilidade para estes elementos.

O estudo produzido por Barrett *et al.* (2008) no jazigo de Feitais - suportado em parte por dados anteriormente obtidos por Barriga (1983) – incidiu essencialmente sobre a caracterização petrogenética e discriminação geoquímica dos litótipos de Aljustrel, com base na projeção de alguns pares de elementos imóveis e de algumas razões entre estes (que monitorizam a sua mobilidade relativa), permitindo discriminar e classificar cinco famílias de riólitos na sequência encaixante de Aljustrel (riólitos dos tipos A, B, C, X e QFP). O trabalho destes autores revelou-se da maior importância para o estudo geoquímico das amostras de Estação, já que foi possível integrá-las aos campos definidos por Barrett *et al.* (2008) nos seus diagramas discriminantes (Fig. 7.1 A-D).



**Figura 7.1** – Projeção de razões de elementos imóveis das amostras de rochas vulcânicas félsicas encaixantes das mineralizações de Estação (riólitos EA, EB e EC), nos diagramas discriminantes de Barrett *et al.* (2008) para as rochas vulcânicas encaixantes das massas de Aljustrel, com indicação dos campos definidos pelas amostras estudadas por aqueles autores. A – Diagrama  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  vs  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$ ; B – Diagrama  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  vs  $\text{Zr}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ; C – Diagrama  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  vs  $\text{Zr}/\text{Y}$  (adaptado de Barrett *et al.* (2008)); D – Diagrama  $\text{Zr}/\text{Nb}$  vs  $\text{Zr}/\text{Y}$ .

Os diagramas da fig. 7.1 deixam perceber claramente que os litótipos vulcânicos que encaixam as mineralizações de Estação, não só se discriminam composicionalmente em mais do que um tipo de riólito, como apresentam assinaturas geoquímicas consistentes com os campos definidos por Barrett

*et al.* (2008), permitindo classificar as nossas amostras como riólitos do tipo A, B e C (adiante designados como riólitos EA, EB, EC, para o caso de Estação; ver também Tabela 7.1).

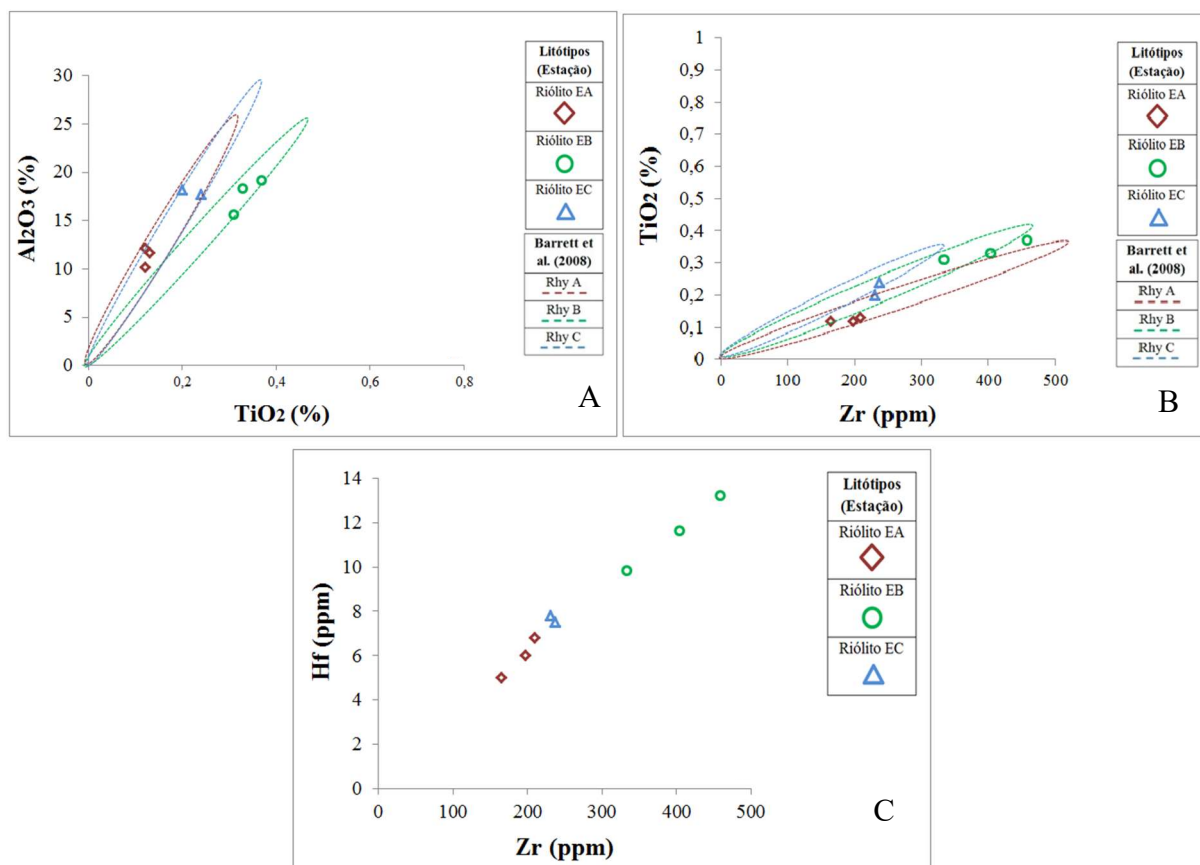
Segundo Barrett *et al.* (2008), a projeção de razões entre elementos imóveis permite eliminar os efeitos decorrentes da alteração hidrotermal nas assinaturas primárias das rochas analisadas, neste tipo de depósitos. Isso permitiu uma aproximação às assinaturas geoquímicas originais dos litótipos analisados, exibindo uma evolução do quimismo do magmatismo, com variações composicionais entre as séries toleítica e transicional (Fig. 7.1 C), e sugerindo que os riólitos de tipo B possam ter evoluído a partir de magmas composicionalmente distintos dos que estiveram na origem dos riólitos dos tipos A e C (Barrett *et al.*, 2008; Figs. 7.1 A, B e D).

O quimismo dos vários litótipos estudados por Barrett *et al.* (2008), bem como as respetivas designações atribuídas aos vários termos vulcânicos, foram anteriormente preconizadas por Dawson e Caessa (2003), e encontram um paralelismo com a sequência litoestratigráfica do Grupo de Aljustrel, estabelecida por autores anteriores (*e.g.*, Schermerhorn e Stanton, 1969; Andrade e Schermerhorn, 1971; Barriga, 1983), como destacado no Cap. 2. Na fig. 7.1 a projeção dos vários campos “composicionais” de Barrett *et al.* (2008) contempla, além dos referidos riólitos A, B, e C, outras duas tipologias de riólitos: os pórfiros quartzo-feldspáticos (QFP) e os riólitos X. A inexistência de correspondência geoquímica entre os litótipos félsicos pouco alterados de Estação e estes dois outros tipos de riólitos, interpretados pelo referido autor como correspondendo a fácies vulcânicas proximais, evidencia e confirma que a sequência hospedeira da massa de Estação se enquadra nos sectores mais periféricos – e superiores – do sistema vulcânico de Aljustrel. A inexistência, em Estação, de amostras de litótipos cujas assinaturas geoquímicas correspondam ao eixo do centro vulcânico, nomeadamente do QFP – de carácter calcoalcalino mais vincado –, ou de unidades estratigraficamente inferiores, como o riólito X, mas apenas de riólitos EA, EB e EC, é consistente com a hipótese da sequência hospedeira de Estação corresponder a fácies vulcânicas mais distais no espaço e no tempo, relativamente às zonas nucleares do centro vulcânico de Aljustrel, cujas fácies se encontram tão bem representadas em Feitais.

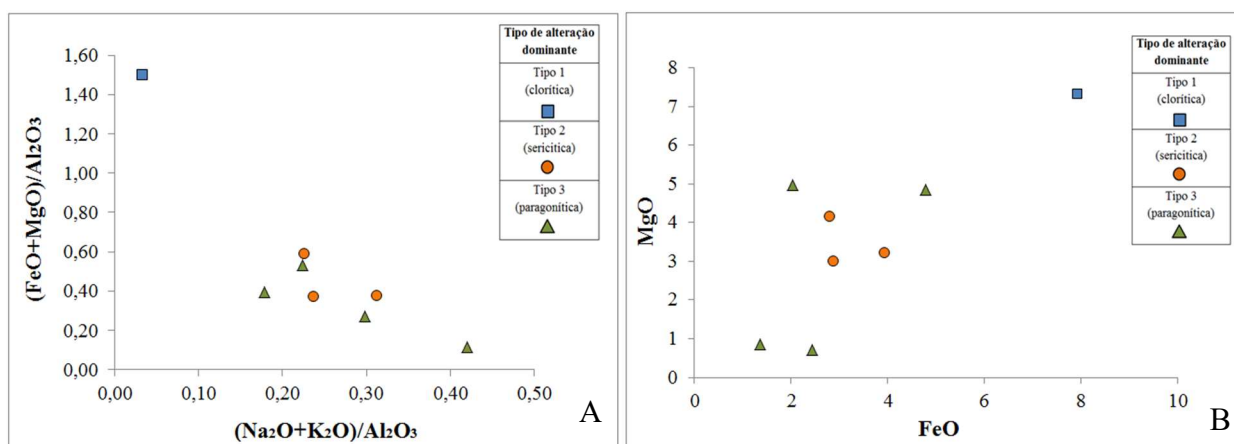
Uma vez plasmada a relação de equivalência geoquímica entre os riólitos do jazigo de Estação e três das tipologias representadas em Feitais (*e.g.* Barrett *et al.*, 2008), é possível obter relações de parentesco igualmente evidentes através da projeção entre valores absolutos de elementos imóveis (Fig. 7.2). As elipses projetadas nos diagramas A e B circunscrevem as áreas de projeção dos termos félsicos equivalentes de Barrett *et al.* (2008), sendo os seus eixos maiores definidos pelos *trends* de correlação, obtidos para cada tipo de riólito – A, B ou C –, na zona de Feitais. Esses *trends* são, naturalmente, expressão de diferenciação magmática, sendo os diferentes declives função das várias afinidades magmáticas associadas a cada família de riólitos (MacLean and Barrett, 1993; Barrett *et al.*, 2008). Os diagramas 7.2A e 7.2B evidenciam uma vez mais o paralelismo geoquímico entre os riólitos de Estação e de Feitais. Por seu turno, a perfeita correlação linear obtida para o Zr e o Hf (diagrama C) decorre, de uma idêntica razão Zr/Hf na fonte, entre elementos com forte afinidade geoquímica. Não obstante, o facto das amostras correspondentes aos três tipos de riólitos reconhecidos em Estação se projetarem em diferentes posições na reta de correlação obtida, reforça a conclusão de que existe variação do grau de diferenciação magmática entre estes três tipos de riólitos, sendo os riólitos EB mais diferenciados do que as duas tipologias restantes. Por simples inspeção dos resultados analíticos obtidos, torna-se evidente um relativo incremento nas concentrações de alguns elementos-traço incompatíveis no riólito EB (*e.g.* Sr, Rb, Y, Zr, V, Th, Hf), em comparação com o riólito EC e, principalmente, com o riólito EA.

Apesar de pouco ou nada mineralizadas, as amostras selecionadas para integrar a tabela 7.1 mostram-se variavelmente afetadas por interações fluido-rocha, de que resultaram padrões de alteração hidrotermal com expressão geoquímica clara, sobretudo se considerados os elementos com maior mobilidade hidrotermal. Como seria de esperar, os dados de geoquímica de rocha total mostram-se coerentes com as paragéneses de alteração e com a composição química das fases minerais secundárias produzidas.





**Figura 7.2** – Projeção de concentrações em elementos imóveis das amostras de rochas vulcânicas fêlsicas encaixantes das mineralizações de Estação (riólitos EA, EB e EC). Sobreposição das elipses que circunscrevem as áreas de projeção dos termos fêlsicos equivalentes de Barrett et al. (2008). A – Diagrama TiO<sub>2</sub> vs Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; B - Diagrama Zr vs TiO<sub>2</sub>; C - Diagrama Zr vs Hf.



**Figura 7.3** – Projeção das concentrações de elementos maiores das amostras de rochas fêlsicas menos alteradas, segundo o tipo de alteração dominante. A – (FeO+MgO)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vs (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; B – FeO vs MgO.

A abundância relativa dos elementos de maior mobilidade, como o ferro e o magnésio, os álcalis, e o cálcio, bem como da própria sílica, é consistente com os efeitos das interações metassomáticas dos riólitos encaixantes com fluidos hidrotermais quentes e ácidos, nas condições físico-químicas que se associam à zonalidade de alteração hidrotermal preconizada para este jazigo e que é bem conhecida na FPI, designadamente, noutras massas de Aljustrel (e.g., Feitais, Barriga, 1983; Gavião, Relvas, 1991).

Na totalidade das amostras analisadas, o Fe<sub>total</sub> encontra-se expresso sob a forma de FeO, dado o predomínio do ião Fe<sup>2+</sup> na estrutura dos minerais que prevalecem no cortejo de alteração mineralizante

(e.g. clorite e pirite). Nos riólitos menos mineralizados (tabela 7.1), a reduzida piritização dos mesmos pressupõe a presença de grande parte do Fe na estrutura da clorite, facto que é confirmado por valores razoavelmente constantes das razões FeO/MgO. Os valores de LOI (perda ao rubro) estão relacionados com a abundância relativa de filossilicatos, já que se tratam de minerais vincadamente hidratados. Coerentemente com esta premissa, é possível constatar que as amostras mais cloritizadas, provenientes de zonas mais proximais ao eixo do sistema, são as que apresentam naturalmente maior teor em voláteis, relativamente às mais sericitizadas e sucessivamente mais distais.

No diagrama A da fig. 7.3 foram projetados os somatórios FeO+MgO contra Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O, ambos normalizados relativamente à alumina, tomada como imóvel, por forma a monitorizar os efeitos de massa associados à mobilidade destes elementos (Relvas, 2000; Carvalho, 2016). Tendencialmente, verifica-se um incremento relativo em álcalis – Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O – no sentido do afastamento ao eixo do sistema mineralizante, com um incremento quase constante de teor em Na<sub>2</sub>O para a periferia (sericites progressivamente mais sódicas). O aumento relativo de K<sub>2</sub>O (sericites potássicas) na geoquímica destas amostras atinge o esperado máximo em zonas (amostras) de alteração do tipo 2 e segue uma tendência de diminuição com o afastamento para zonas mais distais onde predominam sericites ricas em molécula paragonítica, embora a composição sódica das sericites, posta em evidência pela química mineral (Cap. 6), não tenha, como seria de esperar, uma expressão tão vincada em termos de rocha total. Com a aproximação à zona nuclear do sistema, por outro lado, verifica-se um aumento progressivo das concentrações em FeO+MgO, que traduz o incremento progressivo da cloritização que, como habitualmente, tem a sua máxima expressão na zona de alteração do tipo 1 (amostra E12). Este evidente enriquecimento em Fe+Mg, associado ao incremento da cloritização no sentido do eixo do sistema mineralizante, é posto em destaque de forma direta no diagrama B da fig. 7.3.

Como referido anteriormente, na tabela 7.1 é apresentado o Índice de Alteração (IA) de Ishikawa *et al.* (1976 in Large *et al.*, 2001) obtido para cada amostra. Este é definido da seguinte forma:

$$IA = \frac{100(K_2O+MgO)}{(K_2O+MgO+Na_2O+CaO)} \quad (1)$$

Este índice permitiu estimar a intensidade relativa da alteração clorítica/sericítica nos depósitos da província de Kuroko (Large *et al.*, 2001) a partir dos teores em MgO, CaO e álcalis, tendo sido utilizado de forma eficaz por outros autores em depósitos do mesmo tipo e com o mesmo tipo de rochas vulcânicas encaixantes (Fernandes, 2011). Todavia, o índice de Ishikawa apresenta três limitações: (i) não discrimina por si só a alteração clorítica da alteração sericítica, o que o limita na sua utilização como vetor de aproximação aos corpos mineralizados (Large *et al.*, 2001); (ii) não considera os efeitos da alteração carbonatada em processos metalogenéticos, o que em certos casos pode ser problemático (e.g., Lombador; Carvalho, 2016); e (iii) é totalmente “cego” relativamente a alteração predominantemente aluminosa, o que é especialmente crítico nos casos em que a atividade hidrotermal se caracteriza por valores muito baixos de pH (e.g., Corvo, Relvas *et al.*, 2006a).

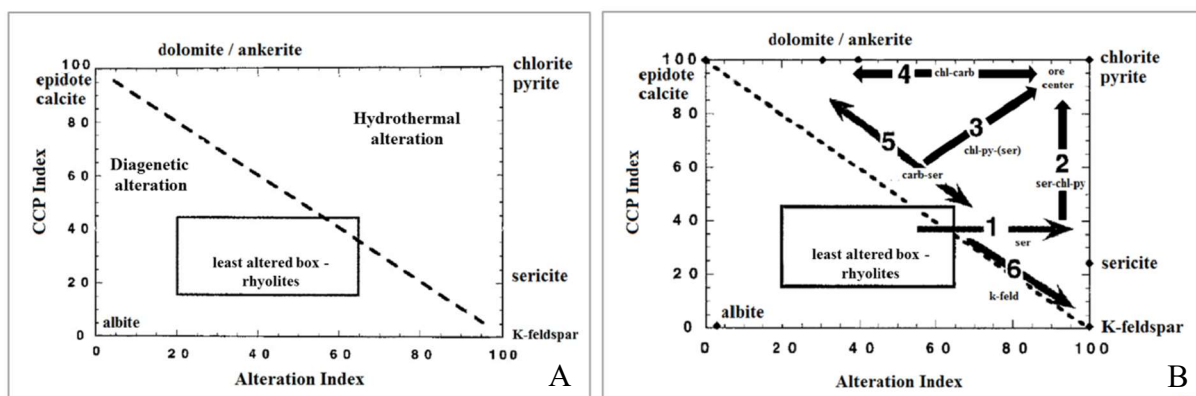
As duas primeiras limitações acima mencionadas, que cobrem as condições de alteração características da esmagadora maioria dos depósitos do tipo VMS, foram ultrapassadas através da combinação do Índice de Alteração de Ishikawa, com o Índice Clorite-Carbonato-Pirite (CCPI), proposta por Large *et al.* (2001). Estes autores conceberam um diagrama binário, a que chamaram “*Alteration box-plot*”, em que fazem intervir aquelas duas variáveis.

O índice CCPI exprime-se pela fórmula:

$$CCPI = \frac{100(MgO+FeO)}{(MgO+FeO+Na_2O+K_2O)} \quad (2)$$

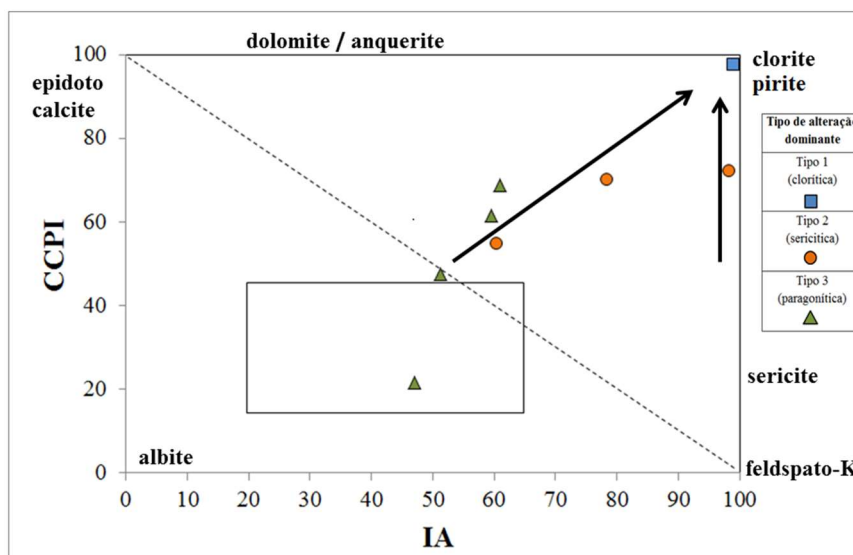
Fazendo uso, simultaneamente, das concentrações em FeO, MgO e álcalis, o CCPI torna-se sensível aos efeitos de cloritização vs. sericitização vs. carbonatização das plagioclases, feldspatos-K e minerais ígneos ferro-magnesianos (Large *et al.*, 2001).

A “alteration box-plot” proposto por Large *et al.* (2001) resulta da conjugação gráfica dos dois índices (Fig.7.4) e constitui uma importante ferramenta na caracterização da alteração hidrotermal mineralizante e sua comparação com os dados da geoquímica de rocha total. O diagrama discrimina os efeitos da alteração diagenética sobre as rochas, daqueles que as afetam por alteração hidrotermal (mineralizante), e permite estabelecer *trends* que definem sequências e paragêneses de alteração. A projeção gráfica dos minerais mais frequentes nos dois tipos de processos (fig. 7.4 A) permite traçar uma diagonal que separa duas áreas triangulares idênticas, mas opostas e com significados diferentes. O feldspato-K, a albite, a calcite e o epidoto definem como termos finais a área da alteração diagenética, enquanto a sericite, pirite, clorite, e os carbonatos – dolomite e ankerite –, definem os termos finais da área da alteração hidrotermal mineralizante. São os *trends* hidrotermais que estão expressos no diagrama B da mesma figura. Em ambos os diagramas a área retangular central é, obviamente, onde se projetam as amostras de rochas frescas ou menos alteradas. No seio desta área, variações existentes serão, portanto, função das assinaturas geoquímicas primárias das rochas consideradas: para rochas de composição riolítica – como é o caso das amostras de Estação – os intervalos que limitam esta “caixa” são  $20 < IA < 65$  e  $15 < CCPI < 40$  (Large *et al.*, 2001).



**Figura 7.4** – “Alteration box-plot”: diagrama binário de correlação envolvendo o Índice de Alteração (IA, Ishikawa *et al.*, 1976) e o Índice Clorite-Carbonato-Pirite (CCPI, Large *et al.*, 2001). A – Representação das áreas de alteração diagenética e hidrotermal; B – Projeção de trends associados à alteração hidrotermal mineralizante (modificado a partir de Large *et al.*, 2001)

O diagrama da fig. 7.5 representa a projeção das amostras menos mineralizadas do jazigo de Estação, classificadas de novo em ordem ao seu tipo de alteração dominante. A projeção das amostras analisadas permite detetar dois dos *trends* composicionais definidos no diagrama B da figura 7.4, consistentemente com o padrão expectável de aproximação ao eixo do sistema hidrotermal mineralizante. O *trend* 3 remete para a intensificação da alteração materializada pela associação clorite ± sericite ± pirite. O padrão definido pelas nossas amostras é totalmente coerente com a sua posição no sistema mineralizante, descrevendo todo um percurso que vai de amostras muito pouco alteradas (alteração do tipo 3), que ainda se projetam em parte no seio da “least-altered central area”, até uma amostra colhida na zona de alimentação do sistema (*stockwork* central; alteração do tipo 1; amostra E12), passando, naturalmente, pelas amostras da zona de alteração predominantemente sericitica (tipo 2). A amostra E13 de composição sericitica, mas com um IA bastante elevado (98,2), inscreve-se no *trend* 2 (Fig. 7.4 B), onde predomina a sericite + clorite ± (pirite).

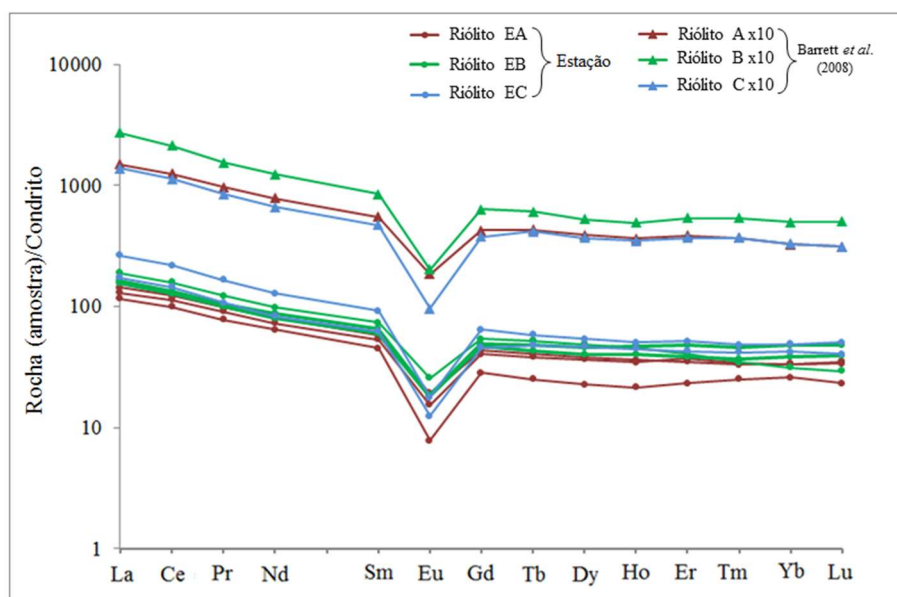


**Figura 7.5** – “Alteration box-plot”: projeção das amostras de riólitos pouco mineralizados de Estação com os respectivos trends de alteração hidrotermal associados (trend 2 - sericite + clorite ± (pirite); trend 3 - clorite ± sericite ± pirite; segundo Large et al. (2001). IA – Índice de Alteração, Ishikawa et al. (1976); CCPI – Índice Clorite-Carbonato-Pirite, Large et al. (2001).

As Terras Raras (TR) englobam um conjunto de 14 elementos (lantanídeos) que se subdividem em dois grupos, segundo o seu número atômico. As TR leves compreendem a série de elementos entre o La (Z=57) e o Eu (Z=63), e as TR pesadas a série entre o Gd (Z=64) e o Lu (Z=71). Estes elementos são consideravelmente imóveis e pouco solúveis (exceto em condições extremas de alteração metassomática), sendo, por isso, importantes na determinação das assinaturas geoquímicas primárias de protólitos originais. O comportamento dos respectivos padrões projetados, permite retratar os efeitos da alteração hidrotermal sobre os riólitos EA, EB e EC analisados.

Os teores em TR dos riólitos pouco mineralizados de Estação – normalizados relativamente ao condrito carbonáceo CI de McDonough e Sun (1995) – são apresentadas na fig.7.6. O padrão de TR que se observa é totalmente consistente com os resultados reportados por outros autores para a FPI (e.g. Munhá, 1983b; Barriga, 1983; Relvas, 1991; Ribeiro da Costa, 1996; Thieblemont *et al.*, 1998) e evidencia uma monotonia que mimetiza quase na perfeição os padrões de TR apresentados por Barrett *et al.* (2008) para o mesmo tipo de litótipos, por eles analisados em Aljustrel, com os quais são comparados na referida figura. Da projeção dos teores de TR deste conjunto de 8 riólitos pouco mineralizados de Estação é possível pôr em evidência os seguintes aspetos: (i) observa-se um enriquecimento moderado das TR leves, cujo ramo apresenta uma regularidade bem vincada entre as várias amostras; (ii) um pendor muito subtil, quase subhorizontal do ramo das TR pesadas evidenciando, contudo, pequenas inflexões no declive (ex: amostra E12, alteração do tipo 1; riólito EA mais empobrecido em TR na fig. 7.6), deverá espelhar variações na intensidade relativa da cloritização vs. sericitização dos respectivos litótipos; (iii) a anomalia negativa de Eu mimetiza de forma muito aproximada o respetivo pico negativo deste elemento nos litótipos menos mineralizados de Barrett *et al.* (2008). A razão  $Eu_n/Eu^*$  permite mostrar numericamente esta semelhança (sendo  $Eu_n$  a concentração de európio normalizada e  $Eu^*=(Sm+Gd)/2$ ). Os riólitos representativos de Feitais (Barrett *et al.*, 2008) apresentam valores de  $Eu_n/Eu^* = 0,38$  (Rhy A);  $Eu_n/Eu^* = 0,27$  (Rhy B); e  $Eu_n/Eu^* = 0,23$  (Rhy C), que se assemelham de forma evidente aos valores correspondentes nos riólitos encaixantes da massa de Estação:  $0,21 < Eu_n/Eu^* (\text{riólito EA}) < 0,38$ ;  $0,32 < Eu_n/Eu^* (\text{riólito EB}) < 0,34$ ; e  $Eu_n/Eu^* (\text{riólito EC}) = 0,23$ . Ficam assim, mais uma vez, demonstradas a expectável imobilidade dos elementos do grupo das TR, bem como a, anteriormente referida, equivalência litogeoquímica entre as amostras de Estação e três

dos litótipos riolíticos estudados por Barrett *et al.* (2008) na sequência de Aljustrel; iv) o intervalo de valores observados nos padrões de TR (diferença entre a amostra mais enriquecida e a mais empobrecida) é relativamente curto e compacto para as amostras pouco mineralizadas de Estação, o que aproxima este conjunto de amostras das assinaturas geoquímicas originais dos litótipos precursores e é coerente com a sua quase inexistente fração sulfuretada.



**Figura 7.6** – Espectro de elementos de Terras Raras (La – Lu) dos riólitos pouco mineralizados de Estação. Projeção dos 3 tipos de riólitos identificados e sua comparação com os riólitos A, B e C de Feitais (x10; Barrett *et al.* (2008); A – valor médio de 2 amostras; B e C análises tomadas por aqueles autores como sendo representativos). Normalização de todas as concentrações relativamente ao condrito carbonáceo CI de McDonough e Sun, (1995)

### 7.3. Rochas vulcânicas félsicas variavelmente mineralizadas e minério maciço

Uma vez reconhecida a natureza félsica dos litótipos menos mineralizados que encaixam as mineralizações de Estação, e estabelecida de forma indiscutível a sua equivalência com as assinaturas geoquímicas dos riólitos previamente estudados por Barrett *et al.* (2008), procurou-se usar esse conhecimento na interpretação das assinaturas geoquímicas das amostras mais vincadamente mineralizadas.

Os resultados analíticos expressos na tabela 7.2 correspondem assim a 22 amostras variavelmente alteradas e mineralizadas, cujas concentrações em enxofre são consideravelmente superiores à das amostras pouco mineralizadas estudadas anteriormente ( $S > 2\%$ ,  $S_{med} = 26,07\%$ ). Na referida tabela, este conjunto de amostras foi dividido em dois grupos: (i) amostras de *stockwork* com proporções relativas muito variáveis entre as suas frações sulfuretada (neoformada) e silicatada (remanescente; riólitos encaixantes incompletamente substituídos); e (ii) minérios maciços, com proporções variáveis, mas sempre subordinadas, de gangas constituídas sobretudo por quartzo hidrotermal e/ou carbonatos. Para cada tipo de mineralização definido, as amostras foram uma vez mais organizadas segundo a zonalidade de alteração hidrotermal já definida. Destaca-se naturalmente o predomínio quase total de amostras integradas no tipo de alteração dominante do tipo 1 (clorítica) que é consentâneo com as zonas mais proximais ao eixo do sistema, onde as condições de mineralização se revelam efetivamente mais intensas. Por último, as amostras foram também classificadas relativamente ao respetivo perfil de amostragem e, em cada um deles, dispostas em ordem de abundância crescente de enxofre.

#### 7.3.1. *Stockwork*

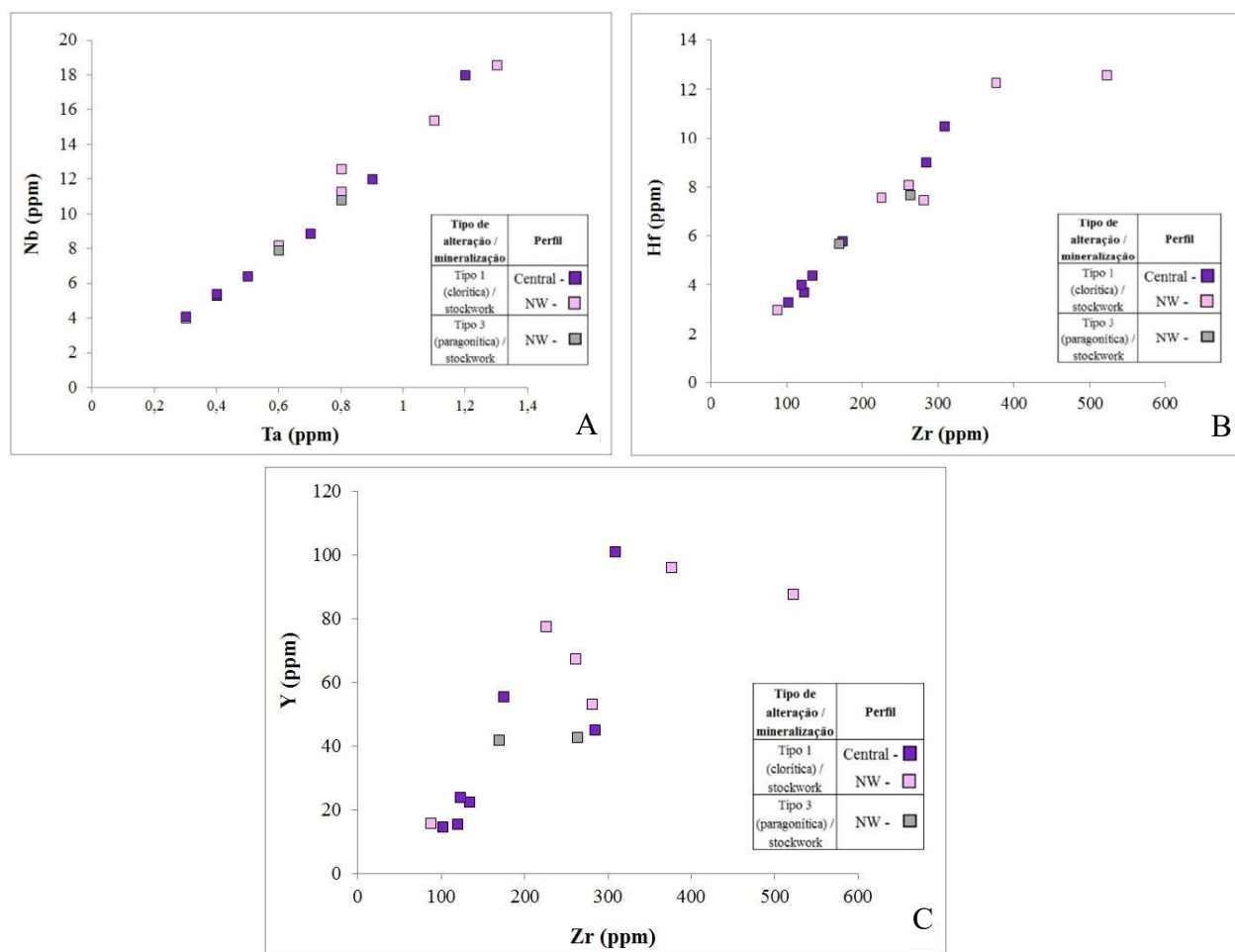
Os litótipos variavelmente mineralizados do *stockwork* apresentam um intervalo de concentrações em enxofre bastante alargado ( $3,01\% < S < 41,7\%$ ,  $S_{med} = 17,95$ ), correspondendo a uma ampla gama de variabilidade quanto à sua intensidade de mineralização. A geoquímica de rocha total evidencia, por isso, amostras fortemente mineralizadas, onde o S e o FeO se equilibram fielmente, espelhando uma piritização dominante. De forma contrastante, verifica-se o decréscimo das concentrações absolutas em  $SiO_2$  (grande mobilidade) e, consequentemente, da sua razão contra o  $Al_2O_3$ , como seria de esperar em amostras progressivamente mais mineralizadas. Ainda assim, a fração silicatada nestas amostras é suficiente abundante para que, com recurso a razões adequadas entre pares de elementos imóveis, seja possível reconhecer claramente as assinaturas geoquímicas dos riólitos substituídos (fig. 7.7 A-C).

Os diagramas A, B e C da figura 7.7 evidenciam uma correlação positiva entre o Ta - Nb, o Zr - Hf e o Zr-Y que é quase perfeita nos dois primeiros casos. Este comportamento (à semelhança do que foi observado para as amostras pouco mineralizadas; fig. 7.2-C) permite confirmar a filiação ígnea das amostras do *stockwork* e estabelece o paralelismo com as assinaturas geoquímicas primárias das rochas pouco mineralizadas, caracterizadas anteriormente. Consequentemente, este conjunto de evidências permite ilustrar, de forma segura, um mecanismo de substituição (“*replacement*”) progressiva das frações silicatadas dos riólitos, por fases minerais sulfuretadas.



**Tabela 7.2 – Análises de geoquímica de rocha total das rochas vulcânicas fêlsicas variavelmente alteradas e mineralizadas de Estação**

Tipo de Mineralização		Stockwork														Minério maciço							
Tipo de alteração dominante		Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 3 (paragonit.)	Tipo 3 (paragonit.)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)	Tipo 1 (clorítica)
Perfil		E10	E11	E9	E7	E11	E8	E5	E22	E19	E18	E21	E20	E17	E14	E15	E4	E2	E3	E25	E27	E28	E26
Ref. da Amostra		E6	E9	E7	E8	E5	E22	E19	E18	E21	E20	E17	E14	E15	E4	E2	E3	E25	E27	E28	E26		
SiO <sub>2</sub>	%	20,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	14,65	16,75	7,32	7,38	9,34	6,86	6	9,62	14,75	22,3	15	13,35	5,56	14,05	13,15	0,07	0,13	0,05	0,79	0,27	0,8	0,4
FeO	%	36,08	21,15	41,48	46,79	29,42	35,45	43,28	8,68	10,62	12,69	27,00	28,88	30,86	5,67	29,96	31,31	41,93	46,61	27,90	35,72	34,19	26,55
MnO	%	0,24	0,38	0,82	0,51	0,04	0,04	0,03	0,14	0,16	0,23	0,21	0,22	0,29	0,19	0,01	0,16	0,3	0,01	0,04	0,01	0,05	0,02
MgO	%	10,2	11,3	4,26	2,84	0,49	0,15	0,15	6,29	14,15	8,04	10,7	7,08	2,02	2,56	0,62	0,13	0,05	0,01	0,21	0,16	0,25	0,13
CaO	%	1,18	0,55	2,78	0,19	0,44	0,89	0,47	0,15	0,16	8,08	0,38	3,24	7,22	7,89	0,28	2,72	6,68	0,08	0,09	0,46	0,03	2,33
Na <sub>2</sub> O	%	0,03	0,18	0,01	0,01	0,06	0,14	0,26	0,07	0,02	0,46	0,03	0,03	0,02	1,31	1,17	0,01	0,01	0,01	0,09	0,03	0,04	0,03
K <sub>2</sub> O	%	0,06	0,78	0,04	0,02	1,04	1,59	1,07	0,71	0,15	2,76	0,06	0,27	0,21	1,65	1,92	0,1	0,11	0,03	0,09	0,03	0,08	0,03
TiO <sub>2</sub>	%	0,18	0,2	0,09	0,08	0,12	0,07	0,08	0,15	0,18	0,27	0,38	0,14	0,06	0,17	0,27	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,02	<0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,04	0,04	<0,01	0,01	0,03	0,03	<0,01	0,02	0,03	0,02	0,09	0,02	0,01	0,04	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01
BaO	%	<0,01	0,15	<0,01	0,01	0,12	0,08	0,48	0,01	<0,01	0,05	<0,01	0,01	<0,01	0,2	0,05	0,1	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
(L.OI)	%	12,55	12,9	20,8	22	18,7	26	27,2	5,34	8,43	10,65	11,05	10,2	21,3	7,26	18,3	26,8	29,3	33,4	21	26,7	27,2	29,1
S	%	9,87	10	21,7	22,7	29,9	40,7	41,7	3,01	3,35	3,46	10,4	10,7	32	3,39	26,4	41,9	46,5	50	33,7	42,7	43	46,4
(CO <sub>2</sub> )	%	2,64	0,99	8,25	7,11	0,40	0,92	0,77	0,22	0,22	7,59	0,44	3,45	6,12	5,98	0,11	4,40	5,61	0,15	0,11	0,40	0,11	1,80
Cu	%	1,33	0,04	0,56	0,38	6,54	1,64	0,22	0,05	<0,01	0,02	4,65	5,73	0,27	<0,01	0,07	0,21	0,26	0,23	0,05	0,41	0,17	0,25
Zn	%	0,04	0,06	0,67	0,33	0,07	0,29	0,35	0,01	0,06	0,05	0,09	0,07	3,46	0,01	0,06	8,68	3,27	0,99	7,67	0,70	2,22	4,77
Pb	%	<0,01	0,02	0,02	0,04	<0,01	0,16	0,12	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,57	<0,01	0,02	0,33	1,44	0,13	0,18	2,10	0,34	0,13
Li	ppm	10	170	<10	10	20	<10	10	60	180	130	90	80	50	100	30	<10	<10	<10	<10	<10	10	<10
Rb	ppm	1,6	43,1	0,5	1	42,1	67,4	47,4	24,7	45	105	2	10	124	65	94,6	0,5	1,7	0,5	4,7	0,5	1,7	0,5
Cs	ppm	0,61	8,8	0,34	0,21	4,19	8,9	6,59	1,97	2,93	18,9	0,82	1,15	0,93	19,7	16,2	0,3	0,97	0,12	1,25	0,17	0,6	0,63
Sr	ppm	13	30,8	26,8	2	98,2	19,8	34,6	9,8	5,2	85,8	27,5	17,3	37,2	25,4	107,5	20,1	61,7	12	5,5	5,2	5,3	12,3
Ba	ppm	4	1305	7,6	63	1030	715	4250	78,6	29,3	389	26,9	43,3	31,9	1770	443	843	61,9	22,8	29,7	4	11,5	5,2
Sc	ppm	7	6	5	4	6	4	1	5	11	11	6	9	4	6	6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Y	ppm	45	101	22,5	23,9	55,6	15,6	14,8	53,2	67,5	96,2	87,7	77,7	15,9	41,9	42,8	0,6	3,3	0,7	20,2	1,6	2,9	2,9
Zr	ppm	284	308	133	122	174	119	101	281	261	376	522	225	87	169	263	<2	6	4	10	2	19	2
Hf	ppm	9	4,4	0,55	4,4	3,7	4	4	7,5	3,3	12,3	12,6	7,6	3	5,7	7,0	<0,2	7,6	<0,2	0,5	<0,2	0,5	<0,2
Tb	ppm	15,35	19,45	7,92	7,46	9,79	6,63	5,14	8,04	15,35	20,5	11,5	12,9	4,88	15,05	11,45	0,05	0,17	0,07	0,58	0,12	1,33	0,28
V	ppm	8	15	6	7	8	12	27	6	6	<5	8	<5	<5	51	21	<5	15	<5	<5	<5	<5	<5
Nb	ppm	12	18	6,4	5,3	8,9	5,4	4,1	8,2	15,4	18,6	12,6	11,3	4	10,8	7,9	<0,2	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	<0,2
Ta	ppm	0,9	1,2	0,5	0,4	0,7	0,4	0,3	0,6	1,1	1,3	0,8	0,8	0,3	0,8	0,6	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,1	<0,1
Cr	ppm	<10	<10	10	<10	<10	10	10	<10	<10	920	<10	10	<10	10	10	<10	10	<10	<10	<10	10	<10
Mo	ppm	1	8	3	2	1	2	11	1	2	1	2	<1	1	<1	<1	<1	25	<1	4	3	1	<1
W	ppm	5	11	4	9	4	4	2	1	8	6	19	9	4	13	2	3	4	10	4	10	2	3
U	ppm	7,53	9,68	3,52	4,63	7,3	4,41	6,26	2,09	3,75	5,34	2,8	3,33	1,72	3,23	2,99	3,96	1,02	1	7,63	1,33	2,4	0,16
Co	ppm	73	36	32	56	512	179	15	400	10	4	144	216	8	1	36	8	43	58	5	121	16	12
Ni	ppm	2	4	<1	<1	2	3	34	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	44	<1	17	4	15	<1
Cu*	ppm	13300	446	5590	3750	65400	16400	2160	526	45	181	46500	57300	2720	30	683	2100	2640	2280	474	4130	1720	2530
Ag	ppm	2,8	1,5	4,9	4,9	10,4	12,4	12,7	0,5	1,1	<0,5	6,7	19,9	15,6	<0,5	2,3	15,3	40,6	12	25,2	83,8	48,8	10,3
Au	ppm	0,143	0,014	0,012	0,033	0,17	0,094	0,269	0,15	0,01	0,02	0,168	0,113	0,058	<0,005	0,089	0,482	0,351	0,053	0,479	0,693	0,877	0,413
Zn*	ppm	430	640	6700	3250	682	2860	3500	106	641	538	902	739	34600	74	602	88800	32700	9850	76700	6990	22200	47700
Cd	ppm	<0,5	0,5	16,2	7,1	0,7	3,9	6,7	<0,5	0,6	<0,5	2,3	2,7	83	<0,5	1	181,5	79,1	18,1	15,9	13,4	45,7	107,5
Hg	ppm	0,665	3,79	7,01	5,47	6,62	7,71	17,35	0,485	2,46	3,81	2,05	1,73	>25,0	0,507	5,44	>25,0	>25,0	>25,0	>25,0	>25,0	>25,0	>25,0
Ga	ppm	36,1	44,6	15,3	14,6	21	13,2	6,8	16	24,7	34,2	30,2	26,6	12,8	20,5	19,5	2,6	12	0,4	2,7	0,9	2,7	3,4
In	ppm	21,4	0,62	10,4	6,81	43,4	5,82	2,85	0,65	0,15	0,48	45,8	52,4	14,85	0,15	0,87	5,89	12,25	2,61	<0,05	2,11	4,55	5,45
Tl	ppm	1,91	2,6	2,38	4,31	18,15	3,64	5,16	8,21	1,13	0,54	1,65	1,49	0,36	0,74	0,55	0,79	35,3	2,49	53,7	3,13	34,7	0,87
Ge	ppm	0,83	0,33	1,48	0,94	0,32	0,25	0,28	0,1	0,17	0,08	0,73	0,64	3,24	0,13	0,12	3,57	0,21	0,15	0,16	0,21	0,2	0,93
Sn	ppm	28	27	48	57	59	65	53	5	16	20	75	54	9	165	542	542	227	28	50	75	313	204
Pb*	ppm	23	239	476	407	48	1580	1340	96	309	81	251	97	5670	19	150	3320	14400	1335	1770	21000	3400	1310
As	ppm	219	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250	>250
Sb	ppm	7,56	231	26,6	32,6	>250	117	219	29,6	12,1	7,69	25,9	17,8	32,3	3,13	8,52	156,5	>250	83,8	247	>250	>250	53
Bi	ppm	43,9	13,3	59,2	58,3	96,7	98,5	45,5	>250	3,69	3,27	17,45	6,71	27,3	0,38	29,4	30	47,2	55,3	2,33	49	37,3	51,3
Te	ppm	0,12	<0,01	0,01	0,03	0,06	0,01	0,01	0,27	0,01	0,01	2,11	0,7	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01
Se	ppm	46,2	17,6	102,5	61,7	109,5	79,9	83,5	17,3	3,3	12,8	108,5	126,5	>250	2,5	9,4	174,5	12,4	35,5	3,2	21,3	2,9	8,1
La	ppm	47,1	74,9	19,2	23,9	34,4	13,9	16,5	23,7	41,4	59,3	38	42,3	14,2	41,7	25,3	0,6	1,3	0,8	16,5	<0,5	2,5	1,5
Ce	ppm	101	164,5	42,3	52	74,2	30,9	34,5	53,5	91,6	131	86,8	91										

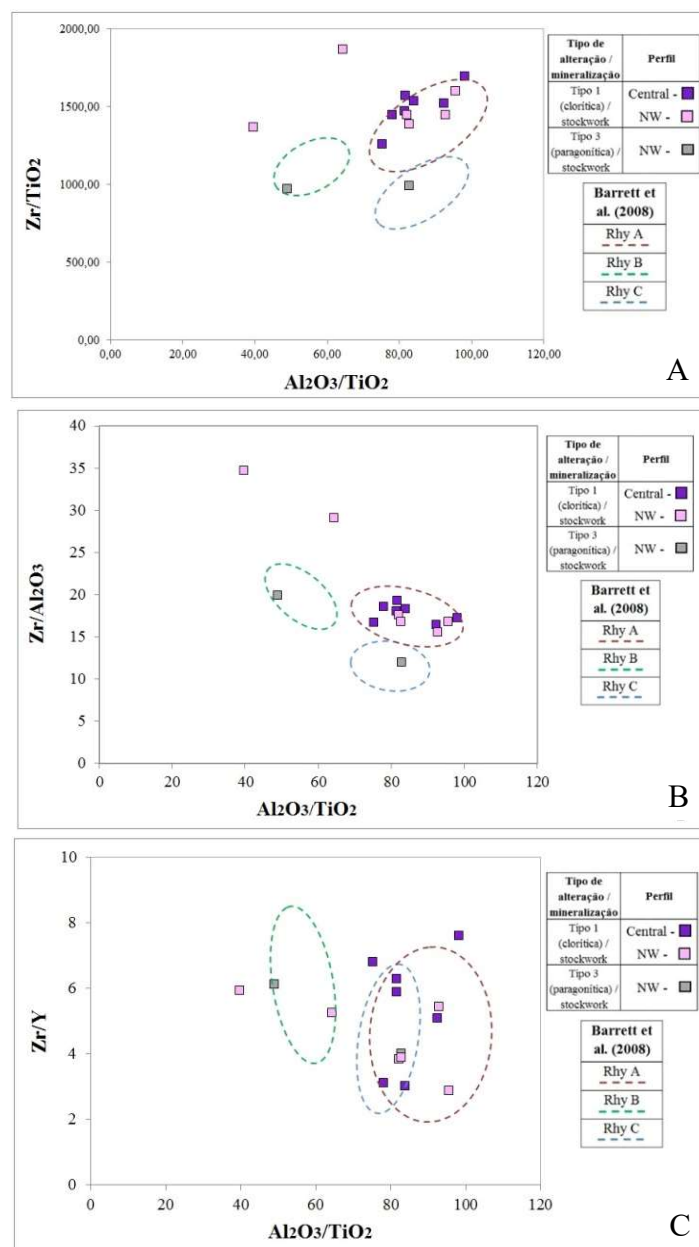


**Figura 7.7** – Projeção de concentrações em elementos imóveis das amostras de stockwork do jazigo de Estação. A – Diagrama Ta vs Nb; B – Diagrama Zr vs Hf; C – Diagrama Zr vs Y

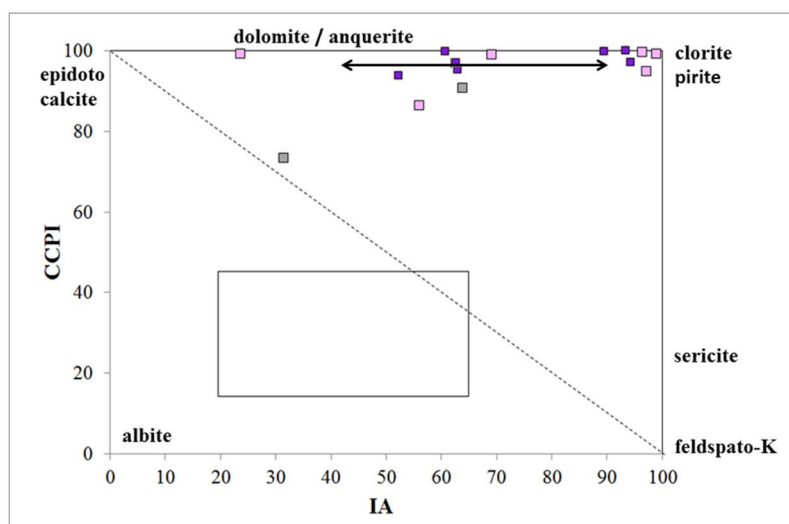
À semelhança do que se fez para as amostras menos mineralizadas dos riólitos que encaixam o jazigo de Estação (EA, EB e EC; fig. 7.1), a projeção das amostras de *stockwork* nos diagramas A, B e C da figura 7.8 permitiu identificar correspondências entre este conjunto de rochas mineralizadas e as tipologias de riólitos A, B e C definidos em Feitais (Barrett *et al.*, 2008) e expressas composicionalmente naqueles diagramas por três elipses. A observação dos três diagramas da fig. 7.8, permite verificar uma maior dispersão das razões entre elementos imóveis nestas amostras, relativamente aos campos definidos pelas elipses Rhy A, Rhy B e Rhy C, o que é interpretado como consequência da maior intensidade da alteração hidrotermal/mineralização sofrida por estas amostras, com natural impacto na imobilidade relativa destes elementos. Ainda assim, esta correspondência é consistente com o estabelecimento de um claro paralelismo entre as amostras mineralizadas do *stockwork* de Estação e os três tipos de riólitos de Barrett *et al.* (2008; EA, EB e EC), tal como se identificou na sequência encaixante deste jazigo com base em amostras menos afetadas por mineralização sulfureta (ver secção 7.2).

É evidente o predomínio de riólitos mineralizados do tipo EA neste conjunto de amostras variavelmente mineralizadas, sugerindo que, em Estação, o eixo do sistema hidrotermal mineralizante é hospedado por riólitos deste tipo. Por seu turno, as amostras E15 e E14, exibem uma assinatura geoquímica que os permite classificar como riólitos EB e EC, respetivamente. Trata-se de amostras afetadas por alteração distal do tipo 3. Esta circunstância, conjugada com as ilações permitidas pelo posicionamento na sequência vulcânica de Estação das amostras menos mineralizadas classificadas como EB e EC (ver secção 7.2), mostra-se coerente com a interpretação da litoestratigrafia vulcânica de Aljustrel proposta por Dawson e Caessa (2003) e Barrett *et al.* (2008) que considera os riólitos A, B e C

sucessivamente mais recentes e/ou distais. Acresce que a zonalidade de alteração estabelecida no capítulo 5, a partir das características paragenéticas e texturais de cada amostra, aliadas à informação da química mineral (Cap. 6), permitiu identificar a teto do corpo mineralizado de Estação rochas afetadas por alteração distal do tipo 2 e, sobretudo, do tipo 3. O facto de se tratar de riólitos com assinaturas dos tipos EB e EC é consistente com uma posição mais distal do sistema hidrotermal, o que reforça a possibilidade de se tratar de rochas vulcânicas tectonicamente instaladas sobre as mineralizações de Estação (alóctones). Não obstante, o reduzido número de amostras estudadas e a forma como se encontram variavelmente alteradas e mineralizadas recomenda precaução na discussão destes dados e impede conclusões definitivas.



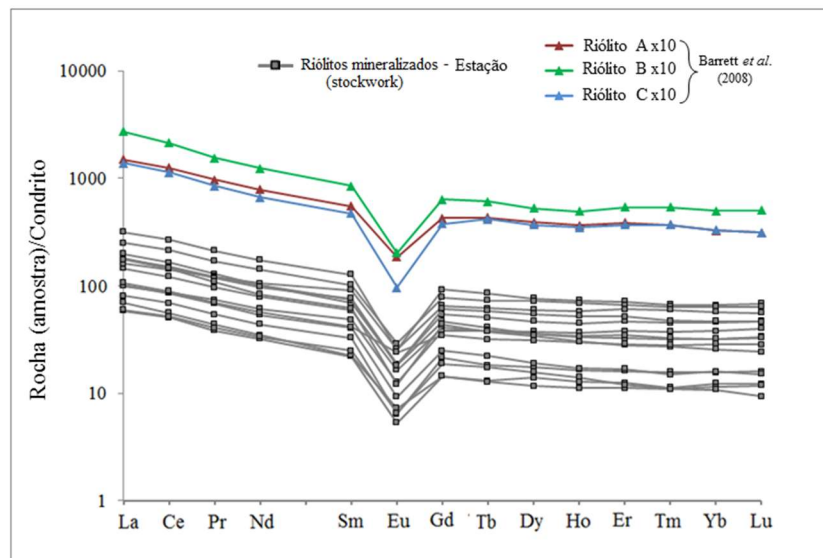
**Figura 7.8** – Projeção de razões de elementos imóveis das amostras de rochas variavelmente mineralizadas do stockwork do jazigo de Estação, nos diagramas discriminantes de Barrett et al. (2008) para as rochas vulcânicas encaixantes das massas de Aljustrel, com indicação dos campos definidos pelas amostras estudadas por aqueles autores. A – Diagrama  $Al_2O_3/TiO_2$  vs  $Zr/TiO_2$ ; B - Diagrama  $Al_2O_3/TiO_2$  vs  $Zr/Al_2O_3$ ; C - Diagrama  $Al_2O_3/TiO_2$  vs  $Zr/Y$



**Figura 7.9** – “Alteration box-plot”: projeção das amostras de riólitos variavelmente mineralizados do stockwork de Estação, com o respetivo trend de alteração hidrotermal associado (trend 4: clorite – carbonatos, segundo Large et al., 2001)

A figura 7.9 representa a projeção das amostras do *stockwork* do jazigo de Estação, classificadas em ordem ao tipo de alteração dominante e ao respetivo perfil. Esta projeção permite identificar um dos *trends* composicionais delineados no diagrama B da figura 7.4, definindo assim um novo padrão de aproximação ao eixo do sistema hidrotermal mineralizante. O *trend* 4 aponta para uma intensificação da alteração mineralizante pela associação clorite - carbonatos - pirite, nos litótipos mineralizados do *stockwork*. Este *trend* expresso através da “alteration box-plot” foi igualmente identificado noutros depósitos da FPI (e.g. Lombador; Carvalho, 2016). Ainda que a “alteration box-plot” não discrimine o tipo de fases carbonatadas presentes, este *trend* de carbonatização das rochas sugere a possibilidade de existir alguma carbonatização associada às paragénese de alteração hidrotermal mineralizante que afetam a sequência encaixante da massa de Estação, presumivelmente nas suas fases mais tardias e/ou fácies mais distais.

Uma leitura atenta dos resultados analíticos expressos na tabela 7.2, permite discutir algumas possibilidades interessantes a este respeito, adicionais relativamente às conclusões permitidas pelos dados de microsonda eletrónica (Cap. 6). A concentração de CO<sub>2</sub> analisada em cada amostra é, como sabemos, função da abundância de carbonatos na mesma. O estabelecimento de relações de abundância relativa entre este volátil e elementos maiores como o CaO, o FeO, o MgO e o MnO permite constranger a natureza dos carbonatos dominantes em cada amostra. As análises que constam na tabela 7.2 remetem para: (i) amostras cuja proporção entre o CO<sub>2</sub> e o CaO é consistente com a presença de calcite, interpretada texturalmente como sendo tardia relativamente à metalogénese (ex.: E8, E19, E22, E20); (ii) amostras com proporções CO<sub>2</sub> – CaO que se afastam da estequiometria da calcite, e que podem talvez testemunhar combinações entre diferentes carbonatos na mesma amostra (ex.: E5, E6, E10); e (iii) amostras de *stockwork* (e.g., E7 e E9) em que valores elevados de CO<sub>2</sub> não são acompanhados por concentrações apreciáveis de CaO e onde a concentração em FeO não é inteiramente atribuível à presença de pirite (devido ao baixo S), ou em clorite (baixo Mg). Nestas circunstâncias, uma possibilidade plausível poderá ser que a matriz alterada destas rochas contenha proporção apreciável de siderite na matriz, tal como sugere o *trend* 4 da “alteration box-plot”, apesar da sua fina granularidade não ter permitido colher dados de microsonda relativos a estas fases (ver 6.1.3).



**Figura 7.10** – Espectro de elementos de Terras Raras (La – Lu) dos riólitos mineralizados do *stockwork* de Estação e sua comparação com os riólitos A, B e C de Feitais (x10; Barrett *et al.* (2008); A – valor médio de 2 amostras; B e C representativos). Normalização de todas as concentrações relativamente ao condrito carbonáceo CI de McDonough e Sun (1995)

As concentrações em TR dos riólitos mineralizados do *stockwork* de Estação – normalizadas relativamente às concentrações condriticas de McDonough e Sun (1995) – são apresentadas na fig.7.10. A variável sulfuretização das amostras de *stockwork* diminuiu muito consideravelmente a fração silicatada de muitas amostras, mas não ao ponto de inviabilizar a projeção dos respectivos padrões de TR. Assim, foi possível obter resultados gráficos que espelham o comportamento das TR em litótipos mais mineralizados, permitindo a sua comparação com o comportamento daqueles elementos nos riólitos “frescos” ou pouco alterados analisados por Barrett *et al.* (2008), ou das amostras pouco mineralizadas de Estação anteriormente apresentadas (fig. 7.6).

O comportamento do padrão das TR nas amostras mais alteradas e mineralizadas é muito semelhante ao que se observa a partir das rochas pouco mineralizadas. Verifica-se uma monotonia no padrão observado, com o expectável enriquecimento das TR leves relativamente às pesadas; estas, por sua vez, exibem um declive muito suave, quase horizontal. Os efeitos da alteração mineralizante são, uma vez mais, expressos pelas inflexões (e consequentes cruzamentos) evidenciadas pelos padrões de algumas amostras. Esse tipo de comportamento traduz, como anteriormente referido, distintas proporções relativas de clorite e sericite nas diversas amostras, que se reflete em particular no ramo de TR pesadas.

Nas amostras mais mineralizadas, o padrão das TR apresenta um *range* mais amplo. Naturalmente, nas amostras em que a fração silicatada é muito diminuta, as concentrações absolutas de TR são, elas próprias, mais diminutas também, sem que, no entanto, o seu padrão de distribuição seja vincadamente alterado.

A anomalia de Eu volta a mimetizar de forma muito aproximada o comportamento deste elemento em rochas pouco alteradas/mineralizadas:  $0,23 < Eu_n/Eu^*(stockwork) < 0,39$ . A exceção a esta regra vem da amostra E15, que se mostra invulgarmente *flat* no que à anomalia do európio diz respeito ( $Eu_n/Eu^* = 0,63$ ). Na verdade, esta amostra não só não viu aprofundada a sua anomalia negativa primária, como se apresenta mesmo enriquecida em Eu relativamente aos riólitos não alterados de Barrett *et al.* (2008), seus precursores mais “frescos”. A amostra em causa mostra-se extremamente mineralizada (S=26,4%) o que permite admitir que a sua assinatura química foi fortemente impactada por produtos de neoformação, nos quais o quimismo do fluido se faz marcar de forma vencedora. É sabido como o esperado enriquecimento do európio em solução nos fluidos mineralizantes é transferido para os precipitados hidrotermais nos locais de deposição. Igual resultado foi já reportado noutros contextos da

FPI, incluindo em Aljustrel, sobretudo associado aos jaspes e outros exalitos hidrotermais (e.g., Feitais, Barriga, 1983; Gavião, Relvas, 1991).

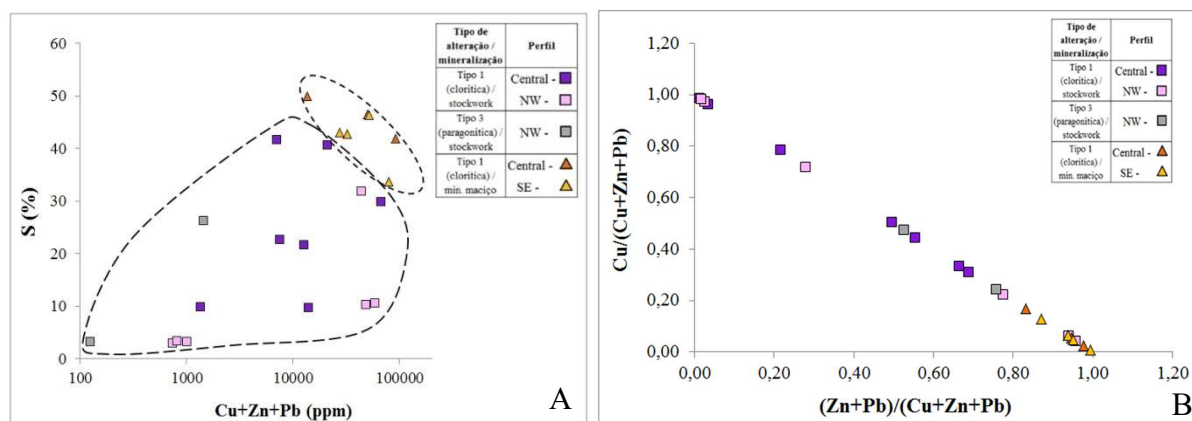
Os padrões de TR observados constituem testemunho da íntima relação entre os riólitos pouco mineralizados da sequência vulcânica de Estação, e os litótipos afetados pela alteração hidrotermal mineralizante do *stockwork*. Esta circunstância remete-nos uma vez mais para a provável relevância dos processos de substituição por sulfuretos das rochas vulcânicas félsicas a muro do jazigo de Estação.

### 7.3.2. Minério maciço

As amostras de minério maciço do jazigo de Estação apresentam concentrações em enxofre particularmente elevadas ( $S > 33,7\%$ ,  $S_{med}=43,5\%$ ), que refletem uma sulfuretização tão vincada que oblitera qualquer assinatura geoquímica de uma eventual rocha vulcânica pré-existente. Mesmo as amostras a que se referem teores em sílica não negligenciáveis, possuem baixíssimas concentrações em alumina, o que indicia tratar-se sobretudo de ganga constituída por quartzo hidrotermal e não de uma matriz vulcânica residual. A intensa sulfuretização deste conjunto de sete amostras inviabilizou, portanto, estabelecer qualquer eventual relação de filiação entre estas e os seus riólitos encaixantes, com base em abundâncias ou razões entre elementos tomados como imóveis.

As análises correspondentes a amostras de minério maciço são projetadas nas figuras 7.11 e 7.12.

O diagrama A da fig. 7.11 correlaciona de forma direta o somatório das concentrações em metais básicos com a percentagem de enxofre, quer nas amostras de *stockwork*, que incluem termos variavelmente mineralizados, quer nas amostras de minério maciço, onde as concentrações daquelas duas variáveis são, naturalmente, máximas.



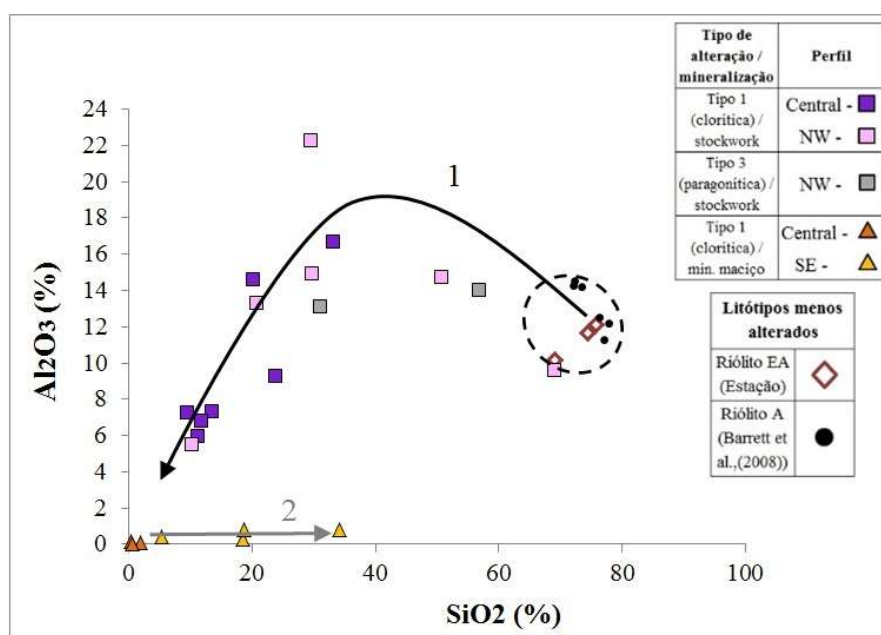
**Figura 7.11** – Projeção das amostras de stockwork e minério maciço. A - Cu+Zn+Pb (ppm) vs S (%); B - “zinc-lead ratio” vs “Cu ratio”

O diagrama B da fig. 7.11 projeta o “zinc-lead ratio” contra o “Cu ratio” numa tentativa de caracterizar a distribuição de metais de baixa temperatura (Zn e Pb) relativamente aos de mais alta temperatura (Cu). Como seria de esperar, sendo aquelas duas razões mutuamente dependentes, as amostras distribuem-se sobre a mesma reta. No entanto, o gráfico permite perceber que, enquanto as amostras de *stockwork* se distribuem ao longo de todo o espectro de zonalidade metálica que caracteriza este tipo de sistema mineralizante, as amostras de minério maciço analisadas representam essencialmente a porção mais zincífera do mesmo, o que corrobora a sua caracterização petrográfica anteriormente apresentada (Cap. 5).

No diagrama da figura 7.12 foram projetadas as concentrações em SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, quer das amostras do *stockwork*, quer do minério maciço. As composições “primárias” dos riólitos do tipo A de Feitais (Barrett *et al.*, 2008) e de Estação (riólitos EA, dominantes, como vimos, a muro da massa de



Estação) foram igualmente projetadas, assim definindo o campo composicional do protólito precursor da mineralização. Este domínio composicional representa o ponto de partida para a análise da evolução do processo gradual de substituição testemunhado pelas diferentes amostras do *stockwork* de Estação, que culminou com a geração dos seus minérios maciços. Tal como Relvas *et al.* (2006a) puseram em evidência na massa do Corvo, o balanço de massa dos processos de mineralização por substituição na sub-superfície, é caracterizado por um *trend* (1) que se inicia por gradual perda de SiO<sub>2</sub> – por lixiviação – e consequente incremento relativo da concentração em Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, associados à circulação de fluidos de elevada temperatura e baixo pH. Apesar de ambos os componentes serem efetivamente removidos, numa fase inicial, a maior solubilidade da sílica relativamente à alumina conduz ao enriquecimento relativo desta última. No entanto, para condições de lixiviação suficientemente ácida, a própria alumina é também lixiviada, pelo que as concentrações absolutas de ambos os óxidos decrescem até próximo de zero, à medida que a fração silicatada da rocha é parcial ou totalmente substituída por sulfuretos, sob condições que permitem uma manutenção relativa de volume no sistema. Este mecanismo evolui até à substituição completa da fração silicatada das rochas hospedeiras dando origem aos minérios maciços (representados graficamente pelos triângulos laranja; perfil central - E2, E3 e E4). Este *trend* 1 constitui o perfil de substituição do protólito original. Esta etapa é intermediada por processos de cloritização intensa das zonas mais proximais ao eixo do sistema, e transferência de K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O e CaO para zonas cada vez mais periféricas (Relvas, 2000; Relvas *et al.*, 2006a).



**Figura 7.12** – Projeção das concentrações de SiO<sub>2</sub> vs Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nas amostras de stockwork e minério maciço de Estação. Projeção da composição dos riólitos dominantes na sequência de muro: Estação – riólito EA; Feitais – riólito A (Barrett et al. (2008). Evolução do sistema mineralizante e mecanismos de substituição. (1) - Trend de substituição; (2) – Trend de silicificação

Concomitantemente, o *trend* (2) que se observa no diagrama da figura 7.12 mostra, em algumas amostras de minério, um claro enriquecimento de SiO<sub>2</sub>, (sem que se verifique uma variação de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Este incremento em sílica que se manifesta nas amostras do perfil SE (E25, E26, E27 e E28) está associado à intensa lixiviação da mesma nas zonas centrais do sistema. Esta mobilidade promove a transferência de SiO<sub>2</sub> para a periferia do sistema, dando lugar a mecanismos de silicificação nas zonas mais marginais do minério maciço, com formação predominante de ganga constituída por quartzo hidrotermal.

## 8. Mineralogia Automática

---

Conforme descrito no Capítulo 4 (“Amostragem e métodos”), houve, no decurso deste estudo, oportunidade de recorrer ao laboratório de MLA da EPDM, empresa que trabalha em estreita ligação com a ALMINA, com vista à obtenção de dados de mineralogia automática respeitantes a um número limitado de amostras de Estação, cuidadosamente seleccionadas. A seleção efetuada incidiu na sua maioria sobre amostras estudadas igualmente por outras metodologias, no sentido de permitir a conjugação – e possível comparação – dos dados obtidos nos laboratórios da EPDM, com a informação anteriormente adquirida, que tem vindo a ser apresentada nos capítulos precedentes. Os resultados obtidos encontram-se sumarizados nas tabelas 8.1 (análise modal) e 8.2 (análise química estimada), e contemplam amostras variavelmente mineralizadas, representativas dos principais tipos de minérios observados em Estação, divididos em dois grupos: minério do tipo *stockwork* e minério maciço.

A totalidade dos dados obtidos, a que reportam as três seções em que se estrutura este capítulo, é apresentada no anexo VI. Estes dados compreendem, para as dez amostras estudadas: a) imagens de electrões retro-difundidos (ERD) e correspondentes imagens de cores “falsas” definidas por “mineralogia automática”; b) análise modal dos principais minerais identificados (e respetiva composição química estimada); c) distribuição de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas; d) quantificação das associações entre fases minerais presentes em cada amostra (análise de libertação mineral).

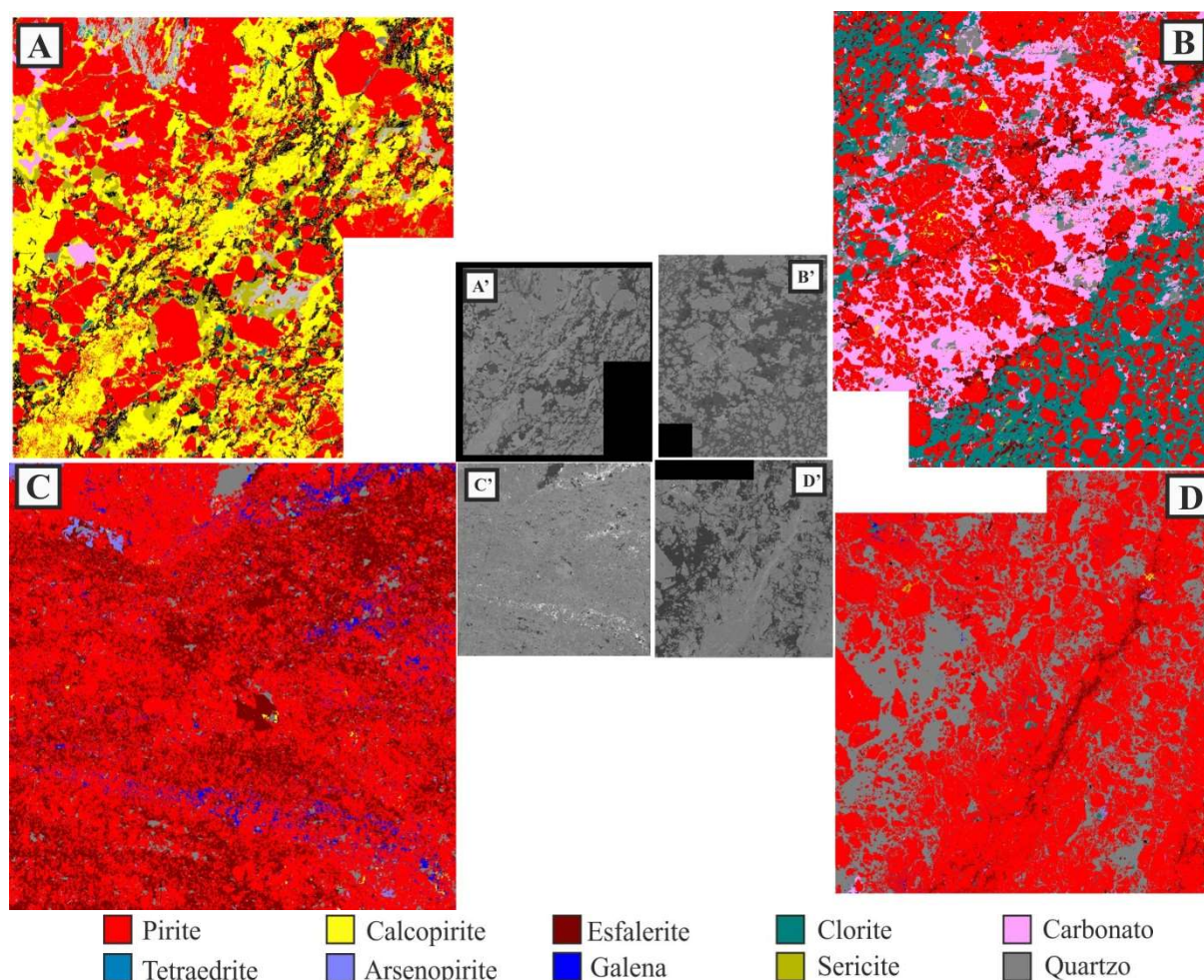
### 8.1. Análise modal dos principais minerais identificados

Com recurso ao MEV (incorporado no equipamento MLA), uma imagem em tons de cinzento da superfície polida da amostra é gerada por ERD, em função da massa atómica dos elementos em presença em cada unidade de área de varrimento considerada (Fig. 8.1). Um sofisticado *software* de análise de imagem combina essa informação com uma extensa base de dados cristaloquímica, construída especificamente para o contexto geológico em causa, permitindo ao MLA classificar a imagem obtida por ERD em ordem às proporções relativas dos minerais presentes, quer em peso (wt%; tendo em conta o conhecimento do peso atómico dos elementos que os constituem), quer em área, permitindo uma correspondência direta com a caracterização petrográfica das várias amostras. Os dois tipos de informação complementam-se. No estudo da análise modal, foi assumida a quantificação dos minerais por unidade de área, por se tratar da opção que melhor se coaduna com informação textural obtida anteriormente (Petrografia; Cap.5). O processo de mapeamento mineralógico efetuado pelo MLA nas diversas amostras analisadas, quer por XBSE, quer por GXMAP (ver 4.2.3) é exemplificado na figura 8.1 através de quatro amostras representativas: duas de *stockwork* (amostra ES13002-56 e amostra ES13001-18) e duas de minérios maciços (amostra ES13002-32 e amostra ES12001-26). A totalidade das imagens colhidas são apresentadas no Anexo VI. A cada imagem de ERD corresponde, como já referido, uma imagem de cores “falsas” que representam as áreas ocupadas pelas fases minerais automaticamente identificadas.

A abundância relativa dos vários minerais identificados em cada amostra seleccionada, é apresentada na tabela 8.1 e é posta em evidência graficamente na figura 8.2, através da projeção dos perfis de quantificação modal de cada amostra.

Como referido, as amostras incluídas na tabela 8.1 foram organizadas em ordem à tipologia de minério em causa (*stockwork* vs. minério maciço). A subsequente ordenação respondeu aos perfis, sondagens respetivas e à profundidade a que cada amostra foi colhida. Após o refinamento dos dados de origem, foi possível listar um conjunto de minerais cujo valor percentual em área é superior ao limite

mínimo definido pelo método: 0,01%. A lista foi ordenada em função das classes a que pertencem os minerais identificados: sulfuretos e sulfossais, óxidos, silicatos e aluminossilicatos, carbonatos e fluorcarbonatos, halogenetos e fosfatos.

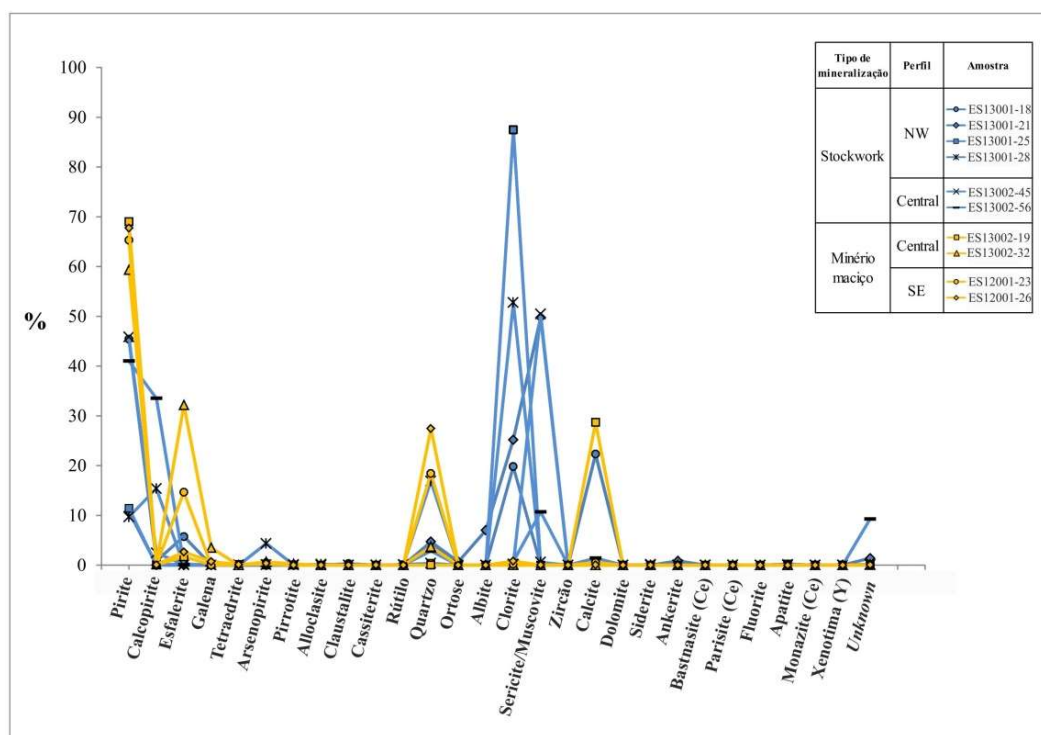


**Figura 8.1** – Mineralogia automática: fotomicrografias de imagens digitais de cores “falsas” geradas por MLA (A-D), obtidas a partir de imagens de ERD (A' - D'). Amostras representativas de stockwork (A e A'; B e B') e minério maciço (C e C'; D e D'). A e A' – amostra ES13002-56; B e B' – amostra ES13001-18; C e C' – amostra ES13002-32; D e D' – amostra ES12001-26.

Coletivamente, os dados obtidos mostram o claro e expectável predomínio de pirite nas paragéneses de alteração mineralizante, com forte predomínio nos minérios maciços. Os minerais portadores de metais básicos com interesse económico, como a calcopirite por um lado, e esfalerite (+galena) por outro, seguem tendências opostas como temos constatado no conjunto das nossas amostras de Estação. Enquanto a calcopirite apresenta valores modais mais elevados no *stockwork* (fig. 8.1A; fig. 8.2), a esfalerite e, com menor expressão, a galena, predominam em zonas de minério maciço (fig. 8.1C; fig. 8.2). Os minerais que compõem a “ganga” do minério, entre os quais se destacam as fases minerais secundárias de alteração como a clorite e a sericite encontram forte expressão em zonas de *stockwork*, e esbatem-se quase por completo no minério maciço. A calcite, tardia relativamente à metalogénese (fig. 8.1 B; ver Cap. 6 e anexo IV) e o quartzo hidrotermal (fig. 8.1 D; ver Cap. 7) exibem picos de abundância em diferentes amostras de minério maciço. A mesma informação mineralógica é retirada a partir diagrama da figura 8.2, mas de uma forma mais visual e ilustrativa.

**Tabela 8.1** – Análise modal dos principais minerais identificados. Valores percentuais estimados (em área), iguais ou superiores a 0,01%

Tipo de mineralização	Stockwork						Minério maciço			
Perfil	NW	NW	NW	NW	Central	Central	Central	Central	SE	SE
Sondagem / ref. amostra	ES13001-18	ES13001-21	ES13001-25	ES13001-28	ES13002-45	ES13002-56	ES13002-19	ES13002-32	ES12001-23	ES12001-26
Profundidade (m)	783,30	796,60	826,90	870,33	638,40	668,15	551,29	593,28	860,40	869,95
Pirite	45,39	10,77	11,44	9,67	45,82	41,02	69,01	59,34	65,28	67,72
Calcopirite	0,86	0,01	-	15,37	2,41	33,53	0,02	0,19	0,01	0,07
Esfalerite	5,74	-	0,26	0,01	0,14	0,10	1,69	32,18	14,65	2,64
Galena	-	-	0,01	-	-	-	0,09	3,50	-	0,72
Tetraedrite	0,01	-	0,01	-	0,01	0,26	0,15	-	0,12	0,11
Arsenopirite	-	-	-	4,33	0,05	-	0,23	0,68	0,47	0,34
Pirrotite	0,09	-	-	-	0,08	0,02	< 0,01	0,26	0,11	-
Alloclasite	-	-	-	0,18	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	-	0,01	-	-	0,02	-	0,01
Rutilo	0,04	0,05	0,11	0,04	0,11	0,04	-	-	-	-
Quartzo	4,59	4,72	0,37	16,86	0,38	2,83	0,01	3,71	18,42	27,45
Ortose	0,02	0,69	-	-	-	-	-	0,01	0,04	-
Albite	-	7,00	-	-	-	0,02	-	-	0,01	-
Clorite	19,80	25,19	87,48	52,75	0,19	0,76	-	0,02	0,22	0,8
Sericite/Muscovite	0,07	49,76	0	0,59	50,44	10,7	0	0	0,05	0,03
Zircão	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	22,31	0,22	-	-	-	1,41	28,69	-	0,54	0,05
Dolomite	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	0,01	-	-	-	0,12	-	-	0,01	-	-
Ankerite	0,49	0,86	-	0,01	-	-	-	-	-	-
Bastnasite (Ce)	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-
Parisite (Ce)	-	-	-	0,01	0,03	-	-	-	-	-
Fluorite	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-
Apatite	-	-	0,23	-	0,09	-	-	-	0,01	-
Monazite-(Ce)	-	0,01	0,01	-	-	0,02	-	-	-	-
Xenótimo-(Y)	-	0,01	0,05	-	0,01	0,01	-	-	-	-
Fase não-identificada	0,19	1,40	0,02	0,14	0,10	9,28	0,09	0,07	0,05	0,06

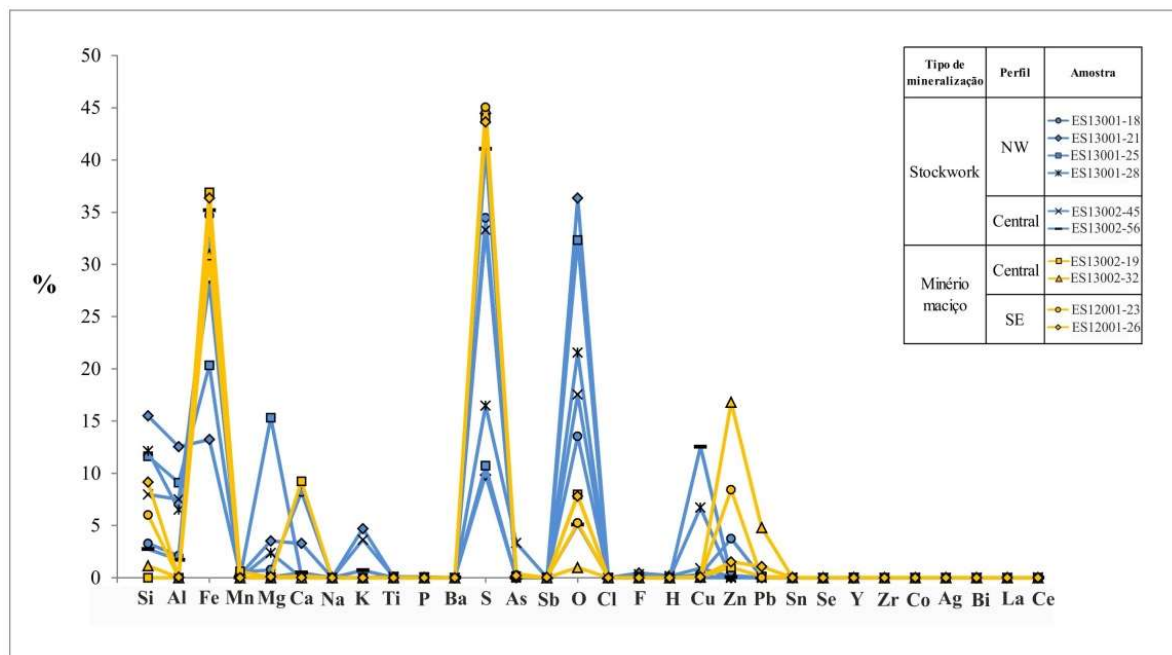


**Figura 8.2** – Diagrama ilustrativo dos perfis de composição modal de cada uma das 10 amostras analisadas. Projeção de valores percentuais estimados (em área), iguais ou superiores a 0,01%



**Tabela 8.2** – Análises químicas estimadas, expressas em concentrações elementares iguais ou superiores a 0,01 wt%. Os elementos Th, Nb, Ta, W, Ag, Nd, Sm, Gd, Dy, não constam nesta tabela por apresentarem concentrações < 0,01% ou nulas

Tipo de mineralização	Stockwork						Minério maciço			
Perfil	NW	NW	NW	NW	Central	Central	Central	Central	SE	SE
Sondagem / ref. amostra	ES13001-18	ES13001-21	ES13001-25	ES13001-28	ES13002-45	ES13002-56	ES13002-19	ES13002-32	ES12001-23	ES12001-26
Profundidade (m)	783,30	796,60	826,90	870,33	638,40	668,15	551,29	593,28	860,40	869,95
Si	3,28	15,5	11,63	12,13	7,98	2,74	-	1,14	6,01	9,15
Al	2,11	12,55	9,1	6,51	7,50	1,71	-	-	0,03	0,06
Fe	32,92	13,23	20,33	30,75	28,31	35,19	36,9	30,92	34,67	36,34
Mn	0,55	0,26	-	-	0,01	0,03	0,6	-	0,01	-
Mg	0,76	3,52	15,32	2,38	0,01	0,06	0,04	-	0,02	0,09
Ca	8,2	3,29	0,1	0,01	0,04	0,50	9,22	-	0,17	0,02
Na	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	0,01	4,7	-	0,05	3,63	0,72	-	-	-	-
Ti	0,03	0,04	0,1	0,03	0,08	0,02	-	-	-	-
P	-	-	0,07	-	0,02	0,01	-	-	-	-
Ba	-	0,02	-	-	-	0,04	-	-	-	-
S	34,45	9,83	10,72	16,48	33,29	41,07	43,91	44,93	45,04	43,63
As	-	-	-	3,32	0,04	0,01	0,14	0,37	0,27	0,2
Sb	-	-	-	0,01	-	0,06	0,04	-	0,03	0,03
O	13,53	36,35	32,33	21,56	17,55	5,09	7,97	0,97	5,23	7,81
Cl	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-
F	-	0,45	0	0	0,33	0,06	-	-	-	-
H	-	0,21	0,01	0	0,16	0,03	-	-	-	-
Cu	0,33	0,01	-	6,71	0,91	12,55	0,07	0,06	0,05	0,07
Zn	3,75	0,01	0,22	-	0,09	0,07	0,98	16,79	8,43	1,52
Pb	0,07	-	0,02	-	0,01	-	0,13	4,79	0,01	1,07
Sn	0,01	-	-	-	0,01	-	-	0,02	-	0,01
Se	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y	-	0,01	0,04	-	-	0,01	-	-	-	-
Zr	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-
Bi	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-
La	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-
Ce	-	-	0,01	0,01	0,03	0,01	-	-	-	-



**Figura 8.3** – Diagrama ilustrativo dos perfis de composição química elementar para cada uma das 10 amostras analisadas. Projeção de valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt %

A partir da determinação da análise modal dos principais minerais presentes em cada amostra, o MLA permite estimar a correspondente análise química elementar (semi-quantitativa). A tabela 8.2 apresenta as concentrações dos elementos químicos estimados para o mesmo conjunto de 10 amostras de *stockwork* e/ou minério maciço.

Como facilmente se depreende, as concentrações elementares estimadas, semi-quantitativas, apresentadas na tabela 8.2, não são diretamente comparáveis com as concentrações analíticas medidas, expressas em % de óxidos ou em ppm, apresentadas e discutidas no Cap. 7. A leitura e interpretação da tabela 8.2, ou a sua representação gráfica apresentada na figura 8.3, respondem assim, diretamente, à variabilidade mineralógica das amostras estudadas refletida na sua análise modal. A título de exemplo, observa-se, naturalmente, o predomínio de concentrações em elementos associados às principais fases minerais sulfuretadas como o S, o Fe, e os metais básicos (Cu, Zn e Pb) nas amostras de minérios maciços ou de *stockwork* mais mineralizadas, enquanto se constata a progressiva diminuição de abundância em elementos como o Mg, o Ca, o K e o Na com a aproximação a zonas mais mineralizadas (minério maciço) e onde os processos de substituição sulfuretada foram mais intensos ou mesmo totais.

Os dados obtidos com recurso a MLA são coerentes do ponto de vista químico-mineralógico com as observações efetuadas (Cap. 5) e resultados mineralógicos e geoquímicos apresentados e discutidos em capítulos anteriores (Caps. 6 e 7), acrescentando a formidável possibilidade de quantificar automaticamente as proporções relativas das fases minerais envolvidas e respetivas composições elementares estimadas.

## **8.2. Alocação mineral dos elementos químicos analisados**

A distribuição dos elementos químicos pelos diversos minerais identificados por MLA constitui uma importante ferramenta de análise, complementar ao estudo de química mineral efetuado. Ao relacionar a análise modal com a química elementar, este instrumento permite compreender a alocação, em percentagem, de cada elemento químico pelos diferentes minerais presentes em cada amostra (Anexo VI.2). As potencialidades desta abordagem no suporte às operações de processamento de minérios na lavarias mineiras são evidentes. Contudo, porque essa não é propriamente a perspetiva que nos move neste estudo, ao longo deste breve subcapítulo, optou-se por uma abordagem essencialmente descritiva e qualitativa, tendo por base os dados apresentados no anexo VI.2.

O enxofre (S) concentra-se, naturalmente, nos sulfuretos mais abundantes em cada amostra, com destaque, invariavelmente, para a pirite e, em menor proporção, mas, ainda com algum significado em amostras particulares, na calcopirite, esfalerite, galena e tetraedrite.

Como seria de esperar, os metais básicos (Cu, Zn e Pb) associam-se predominantemente à calcopirite, esfalerite e galena, respetivamente, tal como já vimos anteriormente. A calcopirite incorpora a maior parte do Cu, sobretudo em amostras de *stockwork*, onde os teores em cobre têm maior significado (especialmente em ES13001-28 e ES13002-56). Em amostras de *stockwork* muito pobres em Cu (ES13001-25), ou nas amostras analisadas de minério maciço, onde o cobre não chega sequer a 0,1% (ES13002-19, ES12001-23 e ES12001-26), o mineral portador é sobretudo a tetraedrite, indiciando que se trata, provavelmente, de ocorrências diminutas associadas a remobilizações tardias.

No caso do Zn verifica-se uma incorporação quase total na estrutura da esfalerite. A galena é o principal mineral de Pb neste jazigo e isso é expresso pela presença quase total deste elemento naquele mineral. Ainda assim, em amostras onde a presença de galena não foi identificada, o Pb encontra-se na estrutura de dois minerais: a clausthalite (amostra ES13001-18) e a babkinite (amostra ES13001-28). Estes dois minerais são selenetos, sendo a babkinite um mineral extremamente raro. O selénio (Se) encontra-se totalmente incluso na estrutura cristalográfica destes dois minerais, nas amostras analisadas. A babkinite é ainda o principal mineral portador do bismuto (Bi) deste conjunto de amostras. A tetraedrite, sendo o sulfossal mais abundante nas nossas amostras, engloba preferencialmente dois



elementos com comportamentos distintos: o antimónio (Sb) e a prata (Ag). No caso da prata, a sua alocação à tetraedrite é total. Em situação de ocorrência diminuta da tetraedrite na amostra, ou mesmo como impureza cristaloquímica, o Sb surge incorporado na arsenopirite (*e.g.* amostra ES13001-28). A arsenopirite é, como sabido, o principal mineral portador de arsénio (As) que é um penalizante do minério. No caso das amostras estudadas, quer de *stockwork*, quer de minério maciço, o As encontra-se maioritariamente na estrutura da arsenopirite e em menores percentagens na tetraedrite. Embora muito pouco abundante em valor total ( $< 0,02\%$ ), a alocação do estanho (Sn) nas amostras de Estação concentra este metal na cassiterite, com destaque para as amostras de minério maciço. Na amostra 13001-25, de *stockwork*, a inclusão de quase todo o estanho na estanite constitui uma exceção àquela realidade.

O Fe, além de se concentrar preferencialmente na piritite e na calcopirite, entra também na estrutura da clorite, com significado particular nas rochas menos mineralizadas do *stockwork*. Além do Fe, a clorite incorpora a maior parte do Al e do Mg. O alumínio distribui-se equitativamente nas estruturas dos filossilicatos (clorite e sericite) e, pontualmente, na ortose. Além da clorite, os carbonatos são a classe mineralógica que engloba o Mg restante. Na verdade, algumas amostras, como a ES13002-45 (*stockwork*) e a ES13002-32 (minério maciço), evidenciam a presença de algumas siderites (e calcites) que acomodam algum magnésio. Nas amostras de *stockwork*, o K é acomodado maioritariamente pela sericite e, em algumas amostras, algum se reparte igualmente pela ortose. Nas amostras de minério maciço, as concentrações em K são negligenciáveis ( $< 0,01\%$ ), pelo que a sua alocação mineral (atribuída automaticamente à ortose) não tem verdadeiro significado (ES13002-19 e ES13002-32). Por seu turno, em todas as amostras analisadas, a incorporação do Na é atribuída totalmente à albita, quando sabemos, por via do estudo fino de química mineral efetuado, que parte desse sódio se encontra na estrutura de sericites com mais significativa molécula paragonítica. O cálcio (Ca) entra na estrutura cristalina de diversos minerais como a apatite, dolomite, anquerite, siderite e parisite, mas predomina largamente na calcite.

### **8.3. Análise de libertação mineral**

No anexo VI.3, são apresentadas, em percentagem, as proporções de contacto geométrico, nas fronteiras de grão, entre as diferentes fases minerais presentes nas amostras estudadas. Em termos industriais, o significado destas percentagens é descrito como correspondendo a “associações minerais”. Na verdade, estas “associações” são meramente geométricas, não correspondendo necessariamente a afinidades cristaloquímicas com eventual significado metalogenético, uma vez que não garantem relações de equilíbrio entre as fases minerais em presença (interpretáveis apenas por inspeção ótica das suas relações texturais). A tabela só tem leitura horizontal, isto é, os minerais listados na coluna mais à esquerda totalizam as suas percentagens de contacto com os diversos minerais que se ordenam ao longo do eixo horizontal. Esta quantificação é absoluta e calculada integrando a totalidade das partículas de cada espécie mapeadas na amostra com recurso ao MLA. A título de exemplo, na amostra ES13002-45, os contornos das partículas que constituem a calcopirite, contactam em 71,81% da sua extensão total com a piritite e em 2,18% da sua extensão total com a esfalerite.

Esta quantificação da associação entre minerais é fundamental para uma análise de libertação mineral e para a compreensão do comportamento dos grãos mistos, com fortes implicações nos processos geometalúrgicos. Por essa razão, estes resultados constituem para as empresas mineiras um corolário precioso do estudo dos minérios com recurso a MLA. A análise de libertação dos minerais é crítica na otimização dos processos de cominuição granulométrica do minério, e concentração em lavaria. No entanto a informação obtida nestas tabelas, não permite estabelecer relações com significado metalogenético seguro, pelo que não detalharemos mais a sua abordagem no contexto deste estudo.

## 9. Discussão e Conclusões

---

O capítulo final deste trabalho tem como objetivos: i) a discussão e interpretação integradas dos resultados apresentados no decurso dos capítulos anteriores, suportados por um conjunto alargado de metodologias complementares entre si, considerando as metas propostas no início deste estudo; e ii) colocar em evidência aspetos e critérios mineralógicos, paragenéticos e geoquímicos que permitam contribuir para a compreensão de alguns dos processos e mecanismos metalogenéticos associados à génese do jazigo de Estação, em Aljustrel.

### 9.1. Discussão

O jazigo de Estação encontra-se hospedado por uma sequência de rochas vulcânicas félsicas, composicionalmente classificados como riólitos ricos em sílica (*high-silica rhyolites*), conforme evidenciado, entre outros autores, por Munhá (1983), Barriga (1983), Relvas (1991); Thieblemont *et al.* (1998) e Barrett *et al.* (2008), e confirmado pelas composições dos termos menos afetados por mineralização sulfureta ((S < 2%,  $S_{med.} = 0,56\%$ ; Cap.7). As razões  $(SiO_2)/(Al_2O_3)$  exibidas pelas amostras menos mineralizadas, aliadas a um conjunto de critérios geoquímicos sustentados na projeção de razões de elementos maiores e menores de comportamento relativamente imóvel, permitiram destrinçar mais do que uma família de riólitos associados ao jazigo. Na verdade, três dos cinco tipos de riólitos identificados por Barrett *et al.* (2008) na sequência vulcânica de Aljustrel (Riólitos dos tipos A, B, C, X e QF)), foram definitivamente identificados em Estação (Riólitos do tipo A, B e C), já que as suas assinaturas composicionais são claramente correlacionáveis com os critérios de classificação preconizados por aquele autor. Os riólitos identificados neste estudo, classificados como EA, EB e EC, variam entre as séries toleítica e transicional, exprimindo uma evolução evidente no quimismo magmático. Os riólitos EB evidenciam uma maior diferenciação magmática, relativamente a EA e EC, traduzida pelas concentrações de elementos imóveis como o  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , Zr e Hf; Fig 7.2). A não identificação de riólitos dos tipos X e QF no jazigo de Estação é consistente com o enquadramento distal e estratigraficamente superior das rochas félsicas que hospedam este jazigo, relativamente às fácies mais proximais do sistema vulcânico, tão bem representadas na sequência de Feitais.

Os vulcanitos félsicos de Estação, de textura predominantemente vulcanoclástica, correspondem principalmente a fácies do tipo brecha rica em *fiamme* e fenocristais, conforme posto em evidência por Rosa *et al.* (2010). À semelhança do que foi descrito noutros jazigos em Aljustrel, foram identificados nas sondagens de Estação níveis-guia siliciosos de chertes e jaspes, e sedimentos vulcanigénicos com várias tonalidades que marcam estratigraficamente a transição para regimes de sedimentação marinha, representados pelos sedimentos turbidíticos do GFBA.

A observação em amostra de mão das rochas vulcânicas de Estação, permitiu reconhecer a sobreposição de efeitos associados a dois eventos importantes, transversais a vários outros depósitos da FPI (*e.g.* Barriga, 1983; Relvas, 1991): (i) os efeitos da alteração hidrotermal mineralizante que se manifesta pela presença de paragéneses de alteração hidrotermal dominadas por associações sulfuretadas portadoras de metais básicos (Cu-Zn-Pb), acompanhados por intensa cloritização e/ou sericitização; e ii) os efeitos do metamorfismo hercínico que originou, como seria de esperar, geração de clivagem, dobramentos a várias escalas e transposição tectónica de todos os elementos ígneos predecessores.

A reconstituição geo-estrutural do jazigo de Estação foi suportada pela implantação em perfis NE-SW de um conjunto de sondagens realizadas e disponibilizadas pela empresa (entre as quais foram amostradas e detalhadamente descritas as sondagens ES13001, ES13002 e ES12001). Para tal, foi essencial a correta caracterização e delimitação das principais unidades litoestratigráficas intersectadas,

o que implicou o *re-logging* daqueles furos. Esta etapa colocou em evidência a geometria lenticular do minério maciço, típica desta tipologia de depósitos, bem como a rede anastomosada de mineralizações (*stockwork*) que define o enraizamento do sistema hidrotermal, a muro. Foi possível interpretar a estrutura encaixante da massa mineralizada, reconstituindo assim a sua expressão geométrica, de forma rigorosa, na sua dimensão vertical e lateral.

De forma a responder ao principal desafio proposto para este estudo, nomeadamente a caracterização da alteração hidrotermal e mineralógica do jazigo de Estação, foi realizado o estudo petrográfico, de química mineral e de geoquímica de rocha total das amostras selecionadas nas etapas de trabalho anteriormente descritas. Por fim, foi possível acrescentar valor a esta abordagem com recurso a técnicas de mineralogia automática. Este conjunto de metodologias, reforça a conveniência e adequação de uma abordagem multi-escalas em estudos desta natureza.

O estudo paragenético e textural de amostras variavelmente alteradas e mineralizadas do jazigo de Estação colocou em evidência os seus padrões e zonalidade de alteração hidrotermal. Estes padrões mimetizam de forma muito aproximada os que foram descritos noutros depósitos da FPI, com especial destaque para os que se observam na região de Aljustrel, nomeadamente no depósito de Feitais (Barriga, 1983) e na massa do Gavião (Relvas, 1991). Estas características texturais, mineralógicas e paragenéticas, permitiram estabelecer um conjunto diferenciado de fácies de alteração hidrotermal, cuja distribuição espacial se revela típica deste tipo de depósitos em Aljustrel e, de uma maneira geral, na FPI.

A zona de alteração do tipo 1 (alteração clorítica) ou de *stockwork* central, corresponde à zona nuclear do sistema hidrotermal e apresenta uma associação mineralógica secundária que reflete as condições termo-químicas mais intensas do sistema. Esta zona apresenta um padrão de alteração totalmente consistente com outros jazigos em Aljustrel (*e.g.* Feitais e Gavião), constituído por clorite + quartzo + sulfuretos + carbonatos  $\pm$  sericite, que obliterou quase por completo a rocha pré-existente, numa assinalável profusão de veios que reproduzem as paleo-condutas de fluidos ascendentes mineralizantes. Foi também possível estabelecer as diferentes expressões texturais e relações de substituição exibidas pelas principais fases secundárias produzidas: quartzo, sulfuretos, clorite, sericite e carbonatos (Fig. 5.2B). Nesta zona, a mineralogia sulfuretada é dominada pela pirite  $\pm$  calcopirite + esfalerite + galena. Tendo em conta a proeminente cloritização e sulfuretização desta zona, o predomínio de Fe + Mg é uma realidade que se pode antecipar, mas que, naturalmente, se confirma analiticamente, quer por química mineral, quer por geoquímica de rocha total.

A zona de alteração do tipo 2 (alteração sericítica) materializa-se num halo periférico relativamente ao núcleo do sistema hidrotermal e caracteriza-se por evidenciar uma intensa sericitização e silicificação. O padrão de alteração hidrotermal nesta zona é claramente dominado pela associação sericite + quartzo  $\pm$  clorite + sulfuretos + carbonatos. O grau de preservação dos feldspatos primários presentes, ainda que muitas vezes fortemente sericitizados e silicificados, retrata a diminuição para a periferia do sistema da intensidade dos processos de alteração. Este afastamento ao eixo do sistema mineralizante é igualmente manifestado pela diminuição da densidade de veios mineralizados e da pervasividade da sericitização. A recristalização, re-orientação preferencial e, frequentemente, crenulação das sericites decorrente da deformação tectono-metamórfica é bem patente nesta zona, à semelhança do que foi evidenciado por outros autores em sistemas hidrotermais semelhantes (Gavião; Relvas, 1991).

Trabalho prévio (*e.g.* Relvas, 2000; Carvalho, 2016), distingue textural e quimicamente, as fácies sericíticas mais proximais (sericites 2a) e ricas em potássio, de outras mais distais e progressivamente mais sódicas (sericites 2b) à medida que nos afastamos do eixo do sistema. Estes dois grupos de sericites são opticamente indistinguíveis nas amostras de Estação, ainda que as análises de microsonda tenham permitido confirmar essa diferenciação química.

Em Estação, a alteração ultra-periférica distal do tipo 3, definida no Gavião por Relvas, (1991), foi unicamente identificada a teto na massa de sulfuretos maciços. Este tipo de alteração é geralmente bastante subtil e faz-se representar por uma associação mineralógica dominada por sericite + quartzo + carbonatos, sobreposta, por vezes, a uma cloritização intersticial da matriz decorrente da alteração regional. Ainda que texturalmente sejam tentados a enquadrar as respetivas amostras em zonas de alteração mais proximal, a química mineral evidencia um claro incremento de molécula paragonítica (Na) nestas sericites. Adicionalmente a este aspeto, a presença de inúmeras relíquias de plagioclase albitizadas, reforçaram a ideia de em enquadramento mais distal para os litótipos de teto, facto interpretado mais adiante.

As clorites observadas nas diversas zonas de alteração hidrotermal apresentam assinaturas típicas de eventos mineralizantes (Cap.5). Texturalmente, foi possível discriminar duas gerações de clorites. As clorites matriciais, de grão fino e muito extensas, resultam de processos de substituição da matriz da rocha primária, de uma forma que é função da razão água/rocha das interações hidrotermais (A/R), ao passo que as clorites de veio, neoformadas, são precipitadas em espaço aberto em equilíbrio com outros minerais. Esta relação textural é reforçada pelas composições das clorites, sobretudo quando colocados em confronto os elementos que ocupam a posição octaédrica da clorite, nomeadamente o Fe, o Mg, e o Al. A relação  $Fe/(Fe+Mg)$  discrimina de forma clara a composição mais ferrosa das clorites de veios ( $0.48 < Fe/(Fe+Mg) < 0.84$ ) sob maior influência dos fluídos mineralizantes que lhes dão origem, relativamente às suas congéneres matriciais ( $0.21 < Fe/(Fe+Mg) < 0.58$ ) cuja química é também condicionada pela composição da rocha original substituída. Graficamente (Fig. 6.1; Cap.6) esta diferenciação química entre clorites é perfeitamente estabelecida.

A análise entre Fe e Mg deste mineral relativamente às zonas de alteração hidrotermal definidas a muro do minério, sublinha ainda a tendência de enriquecimento em Fe no sentido da aproximação ao eixo do sistema, dando um cunho mais ferroso às clorites associadas à zona 1 relativamente às da zona 2 (e.g., Tabela 6.1). Esta tendência é confirmada pela relação entre o Fe e o Al em clorites neoformadas, pelo facto de competirem pela mesma posição octaédrica (Fig. 6.2). As clorites em veios são invariavelmente muito ricas em ferro. Composicionalmente, cerca de 90% das clorites associadas aos processos mineralizantes classificam-se como ripidolites. Este conjunto de dados obtidos para no jazigo de Estação, que relacionam o Fe, o Mg e o Al em clorite, são muito consistentes com os que foram apresentados nos casos de Feitais (Barriga, 1983) e do Gavião (Relvas, 1991).

Os álcalis e alcalino-terrosos (K, Na e Ca,) manifestam um comportamento de vincado empobrecimento em zonas proximais ao eixo do sistema, devido à intensa lixiviação que a intensidade das condições de alteração mineralizante impõe. Consistentemente, os feldspatos ígneos estão totalmente ausentes na zona de alteração do tipo 1. A variação da concentração em Mn (indicador de oxi-redução) nas clorites analisadas, dá expressão ao carácter fortemente redutos dos fluídos mineralizantes. Havendo menor profusão de veios mineralizados em zonas mais distais do sistema, o Mn incorpora-se preferencialmente nas clorites de zonas periféricas.

A composição das sericites apresenta uma interessante variabilidade, sustentada na razão  $Na/(Na+K)$  (6.1.2), com particular importância para a delimitação de halos de alteração mineralizante, periféricos relativamente ao *stockwork* central. Composicionalmente, a sericite apresenta variações na razão  $Na/(Na+K)$  que traduzem composições fortemente potássicas (tipo 2a), sericites progressivamente mais ricas em molécula paragonítica (tipo 2b), chegando a paragonites quase puras, ou discretas (tipo 3). Não obstante, em termos da química de rocha total (Fig. 7.3 H) a composição mais sódica das sericites não se faz notar de forma tão vincada, dada a influência cruzada do conjunto da mineralogia secundária na composição global de cada amostra.

Esta zonalidade espacial, definida por valores progressivamente mais elevados da molécula paragonítica na sericite, é já bem conhecida em outros depósitos da FPI, designadamente em Aljustrel (e.g. Feitais, Gavião; Barriga, 1983; Relvas, 1991)), Neves Corvo (Relvas, 2000; Carvalho, 2016),

Lousal (Fernandes, 2011), ou Rio Tinto (Costa, 1996). Tal como em vários desses casos, ainda que o incremento do K na zona 2 e progressivo aumento do Na no sentido de zonas mais periféricas seja uma realidade à escala do depósito, a verdade é que essa zonalidade também encontra expressão espacial e/ou temporal à escala de cada halo de alteração. Por exemplo, a zona de alteração do tipo 1 apresenta uma grande amplitude composicional desta variável ( $0.048 < \text{Na}/(\text{Na}+\text{K}) < 0.909$ ), conciliando a presença de sericites mais potássicas e outras muito sódicas, num contexto em que a sericite é globalmente subordinada relativamente à clorite. A evolução termoquímica do sistema hidrotermal no espaço e no tempo, e colapso do mesmo sobre si próprio (percurso retrógrado), permitem interpretar este facto como resultando do processo de substituição de fases filossilicatadas mais precoces e internas (clorites, sericite-K), por outras mais tardias e periféricas relativamente à zona nuclear do sistema (sericites-Na). Verificou-se igualmente e de forma sistemática, o incremento da presença de Fe+Mg na estrutura da sericite no sentido das zonas mais internas do sistema mineralizante, funcionando este critério igualmente como um vetor de aproximação ao eixo do sistema.

Todos os feldspatos analisados são plagioclases que se apresentam variavelmente alteradas (sericitizadas e/ou albitizadas por perda da molécula anortítica), devido à intensidade das interações hidrotermais sofridas. Também no caso das plagioclases, ou do que restou delas (reliquias), o grau de alteração está diretamente relacionado com a proximidade ao eixo do sistema mineralizante. O afastamento dessa zona nuclear traduz-se numa atenuação da intensidade das condições de alteração, designadamente da temperatura, acidez e carácter redutor do fluido, facto que propiciou a preservação de algumas reliquias de plagioclase que foram objeto de análise. As plagioclases de zonas mais periféricas, de zona 3, evidenciaram menor grau de remoção de Ca e, por isso, menor albitização, relativamente a plagioclases mais proximais da zona 2. O grau de preservação das plagioclases, e de albitização por remoção da molécula anortítica da estrutura cristalográfica, constitui assim um importante critério mineralógico e analítico de aproximação ou afastamento à zona de alimentação do sistema.

Os carbonatos identificados e analisados em Estação incluem anquerites, tardi-metalogenéticas, mas fazem-se representar, na sua maioria, por calcites associadas a eventos mais tardios, tectono-metamórficos. A presença de Fe e Mg na estrutura da anquerite coloca a nu, uma vez mais, o fator distanciamento relativo de minerais ferromagnesianos relativamente a zonas de alteração mais proximais ou mais distais face ao eixo do sistema mineralizante. A segregação das anquerites mais ferrosas e proximais (perfil central), relativamente às que apresentam uma relação Fe/Mg inferior, mais distais (perfil NW) (Fig. 6.9) é disso um bom exemplo.

A siderite é um carbonato relativamente comum nas associações secundárias que marcam as fases mais tardias dos processos metalogenéticos associados a sulfuretos maciços na FPI. No entanto, em Estação, não lográmos analisar siderite por microsonda. O estudo litogeoquímico efetuado, no entanto, sugere uma maior importância dos carbonatos ferrosos nas associações secundárias do jazigo de Estação do que os resultados mineralógicos permitiram antever, provavelmente porque a siderite existente deverá ocorrer como uma fase secundária muito fina dispersa na matriz pouco cristalina das rochas alteradas. A projeção de amostras de *stockwork* mineralizado de Estação em diagramas do tipo *Alteration box-plot* (Large *et al.*, 2001) permitiu identificar claramente um *trend* de associação clorite – carbonatos – pirite, que define um padrão de aproximação ao eixo do sistema mineralizante.

A caracterização dos padrões de alteração mineralizante e respetivas zonalidades descritas anteriormente, foram consubstanciados pela mobilidade de alguns elementos maiores em amostras menos mineralizados, expressa pelas respetivas assinaturas geoquímicas, em função da distância ao eixo do sistema. Constatou-se que os efeitos do metassomatismo sofrido pelos riólitos por interação com os fluidos mineralizantes (quentes, ácidos e redutores), redundou na migração dos álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ) para zonas mais afastadas, o que se traduziu num aumento relativo destes elementos do núcleo para a periferia do sistema. Os dados obtidos reforçam ainda o facto de haver um pico de abundância de potássio na zona de alteração do tipo 2, com diminuição para zonas mais afastadas. O incremento

progressivo de Fe+Mg no sentido de aproximação ao eixo do sistema hidrotermal reflete o aumento da cloritização no mesmo sentido, com expressão máxima na zona 1, como esperado.

A projeção das variáveis geoquímicas relevantes na “*Alteration box-plot*” (Large *et al.*, 2001) permitiu relacionar os dados da litogeoquímica com a alteração hidrotermal mineralizante. No caso das amostras pouco mineralizadas anteriormente descritas foram identificados dois *trends* composicionais de alteração, no sentido da aproximação ao eixo do sistema, que são consistentes com as paragêneses e respectivos padrões de alteração anteriormente descritos. O *trend 3* (paragênese clorite + sericite + pirite) e o *trend 2* (sericite + clorite  $\pm$  pirite) permitem traçar percursos de intensificação da alteração mineralizante, desde zonas mais periféricas (tipo 3), até às mais zonas internas do sistema (tipo 1).

As análises de geoquímica de rocha total das amostras mais mineralizadas (*stockwork* e minério) remetem maioritariamente para amostras localizadas em zona de alteração do tipo 1 onde os efeitos da alteração/mineralização são mais proeminentes. Apesar da mobilidade relativa de vários elementos com o crescente aumento da alteração/mineralização, foi possível estabelecer um paralelismo entre as assinaturas destas amostras e das suas congêneres menos afetadas pela mineralização. Tal foi possível, naturalmente, através de correlações entre elementos menores de reduzida mobilidade como o Ta, Nb, Zr, Hf e Y. Esta clara relação de filiação constitui uma evidência direta da importância dos mecanismos de substituição enquanto estilo de mineralização dominante em Aljustrel, de resto corroborando a proposta feita há já várias décadas por Barriga (1983). Uma segunda evidência de mineralização por substituição na sequência de Estação, é refletida pela evolução composicional da SiO<sub>2</sub> e do Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Fig. 7.12) que reflete o balanço de massa do sistema durante o processo de mineralização (*cf.* Relvas *et al.*, 2006a). Verifica-se a lixiviação gradual, mas desfasada, de sílica e alumina por interação com os fluidos mineralizantes, com remoção progressiva da fração silicatada da rocha e sua substituição por fases sulfuretadas. Simultaneamente, o SiO<sub>2</sub> lixiviado é transferido para a periferia do sistema favorecendo processos de silicificação nas zonas de minério distal.

Foi possível determinar que a massa de Estação é hospedada predominantemente por riólitos do tipo EA a muro e que, a teto do minério maciço, os riólitos EB (amostra E15) e EC (amostra E14) se sobrepõem e são concordantes com a sequência litoestratigráfica estabelecida por Barrett *et al.* (2008) e Dawson e Caessa (2003). A alteração ultra-periférica (do tipo 3) destas duas amostras, expressa pelas suas assinaturas mineralógicas e geoquímicas, remetem para a possibilidade de essas rochas corresponderem a um conjunto de formações alóctones, deslocadas tectonicamente. Esta é, no entanto, ainda uma hipótese de trabalho que requer confirmação independente, pois se baseia, por enquanto, num número reduzido de interseções e amostras e em evidência indireta. Ainda assim, em coerência com esta hipótese, as características texturais das amostras disponíveis ilustram, do topo para a base, um crescente *fabric* tectónico que poderá corresponder a um incremento progressivo da deformação, possivelmente relacionado com a aproximação a um importante acidente tectónico a topo do minério maciço.

## **9.2. Conclusões**

As características geoquímicas, paragenéticas e texturais associadas à alteração hidrotermal mineralizante do jazigo de Estação foram colocadas em evidência no decurso deste trabalho e apresentam-se muito coerentes com as que se descreveram no passado para outros depósitos de sulfuretos maciços no coto mineiro de Aljustrel, como é o caso das massas de Feitais e Gavião. O estudo permitiu um conjunto de conclusões e ilações que se revelam importantes ferramentas e critérios de prospeção, potencialmente utilizáveis como vetores de prospeção em novos alvos:

- 1) Três dos cinco tipos de riólitos identificados por Barrett *et al.* (2008) na sequência vulcânica de Aljustrel (Riólitos dos tipos A, B, C, X e QF)), foram definitivamente identificados na sucessão que



hospeda a massa de Estação (Riólitos do tipo A, B e C), já que as suas assinaturas composicionais são claramente correlacionáveis com os critérios de classificação preconizados por aquele autor.

- 2) A detalhada descrição dos padrões de alteração hidrotermal mineralizante, assente nas características mineralógicas, texturais e paragenéticas dos litótipos de Estação, permitiu diferenciar um conjunto de fácies que contribuíram decisivamente para a delimitação de uma zonalidade de alteração hidrotermal mineralizante. O incremento de veios mineralizados, a intensidade da alteração das plagioclases, e a transição gradual entre fácies onde predomina a sericite (+ quartzo  $\pm$  clorite + sulfuretos + carbonatos) para outras dominadas por clorite (+ quartzo + sulfuretos + carbonatos  $\pm$  sericite), são critérios petrográficos evidentes que, considerados a uma escala adequada, “apontam” para as zonas de alimentação dos sistemas.
- 3) Constatou-se que, (i) o incremento gradual e relativo de Fe na composição nos minerais de alteração hidrotermal secundários (clorites, sericites e carbonatos); (ii) a diminuição progressiva de Na (molécula paragonítica) na estrutura das sericites e aumento da concentração em K na mesmas; (iii) o aumento de plagioclases metassomatizadas e fortemente albitizadas, no sentido de aproximação ao corpo mineralizado de Estação, constituem valiosos critérios mineralógicos de prospeção, complementares à petrografia.
- 4) A geoquímica de rocha total reforçou os resultados destacados pela petrografia e química mineral. Critérios geoquímicos de aproximação ao eixo do sistema mineralizante foram estabelecidos. Nos minérios de *stockwork* e sub-maços, as assinaturas geoquímicas parcialmente preservadas das rochas substituídas são coerentes com as dos protólitos locais identificados. Foi demonstrado o mecanismo de substituição das rochas encaixantes por interação com fluidos mineralizantes no seu percurso ascensional, evidência que é consistente com um estilo de mineralização por substituição na sub-superfície.

## 10. Referências bibliográficas

---

- Andrade, R., & Schermerhorn, L.J.G., (1971). Aljustrel e Gavião. *In* Carvalho, D., Goinhas, J., Schermerhorn, L.J.G. (Eds.), Principais jazigos minerais do sul de Portugal. I Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica. Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos, Livro-Guia da Excursão n.4. pp. 32-59).
- Barrett, T. J., Dawson, G. L., & MacLean, W. H. (2008). Volcanic Stratigraphy, Alteration, and Sea-Floor Setting of the Paleozoic Feitais Massive Sulfide Deposit, Aljustrel, Portugal. (I. Society of Economic Geologists, Ed.) *Economic Geology*. v.103, pp. 215-239.
- Barriga, F.J.A.S (1983). Hydrothermal metamorphism and ore genesis at Aljustrel. Portugal (Tese de Doutoramento (não publicado). University of Western Ontario. Canada.
- Barriga, F.J.A.S (1990). Metallogenesis in the Iberian Pyrite Belt. *In* Dallmeyer R.D., & Martinez Garcia E.(Eds.) *Pre-Mesozoic Geology of Iberia: Berlin*. Springer-Verlag. pp. 369-379.
- Barriga, F.J.A.S., & Fyfe, W. S. (1988). Giant pyritic base-metal deposits: the example of Feitais, Aljustrel, Portugal. *Chemical Geology*. v.69, pp. 331-343.
- Barriga, F.J.A.S., Carvalho, D., & Ribeiro, A. (1997). Introduction to the Iberian Pyrite Belt. *In* Barriga, F.J.A.S. & Carvalho, D. (Eds.). Geology and VMS Deposits of the Iberian Pyrite Belt. SEG Neves Corvo Field Conference 1997. *Society of Economic Geologists*. pp. 1-20.
- Bayliss, P. (1975). Nomenclature of the trioctahedral chlorites. *Canadian Mineralogist*. v.13, pp. 178-180.
- Boogaard, M.V. den, & Schermerhorn, L.J.G. (1975). Conodont faunas from Portugal and southwestern Spain: Part 3. Carboniferous conodonts at Sotiel Coronada. *Scripta Geol.* n.28, pp 37-43.
- Carvalho, D. (1976). Considerações sobre o vulcanismo da região de Cercal-Odemira. Suas relações com a faixa piritosa. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*. v.60, pp. 215-238.
- Carvalho, D. (1979). Geologia, metalogenia e metodologia da investigação de sulfuretos polimetálicos do Sul de Portugal. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*. v.65, pp. 169-191.
- Carvalho, D., Barriga, F.J.A.S., & Munhá, J. (1999). Bimodal Siliciclastic Systems — The Case of The Iberian Pyrite Belt. *In* Barrie, C.T & Hannington, M.D (Eds.) *Volcanic-associated massive sulfide deposits – Processes and examples in modern and ancient settings: Reviews In Economic Geology*. v.8, pp. 323-332.
- Carvalho, J. (2016). *Zinc Metallogenesis, and Indium and Selenium Distribution at the Neves Corvo deposit, Iberian Pyrite Belt, Portugal*. Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa. Portugal.
- Costa, I. (1996). *Efeitos mineralógicos e geoquímicos de alteração mineralizante em rochas vulcânicas félsicas de Rio Tinto (Faixa Piritosa Ibérica, Espanha)*. Universidade de Lisboa.
- Dawson, G. L., & Caessa, P. (2004). Geology of the Aljustrel Mine area, southern Portugal. Aljustrel Field Trip Guide, EuroZinc Mining Corporation (AGC-Minas de Portugal).
- Dawson, G.L, & Caessa, P. (2003). Geology of the Aljustrel Mine area, southern Portugal. Aljustrel Field Trip Guide, EuroZinc Mining Corporation (AGC-Minas de Portugal), Aljustrel. Portugal.

- Dawson, G., Caessa, P., Alverca, R., & Sousa, J. (2001). Geology of the Aljustrel mine area, southern Portugal. *GEODE workshop: Massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite Belt: New advances and comparison with equivalent systems*. Aracena, Spain.
- Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J. (1992). *Minerais constituintes das rochas - uma introdução* (2ª edição ed.). Lisboa. Fundação Calouste Gulbenkian.
- Fandrich, R., Gu, Y., Burrows, D., & Moeller, K. (2007). Modern SEM-based mineral liberation analysis. *Internacional Journal of Mineral Processing*. v.84, pp. 310-320.
- Fernandes, A. S. (2011). *Caracterização petrográfica, mineralógica e geoquímica do padrão de alteração hidrotermal a muro das massas de sulfuretos maciços do Lousal, Faixa Piritosa Ibérica* (Tese de Mestrado). Universidade de Lisboa. Portugal.
- Gaspar, O. C. (1995). *Microscopia e petrologia de minérios aplicadas à génese, exploração e mineralurgia dos sulfuretos maciços dos jazigos de Aljustrel e Neves-Corvo* (Tese de doutoramento ed.). Universidade do Porto. Portugal.
- Guidotti, C. V. (1984). Micas in metamorphic rocks. In Bailey, S.W. (Eds.). *Micas: Reviews in Mineralogy*. v.13, pp. 357-467.
- Guidotti, C. V. & Sassi, F. (1998). Petrogenetic significance of Na-K white mica mineralogy: Recent advances for metamorphic rocks. *Eur. J. Mineral.* v.10, pp.815-854
- Inverno, C. M., Solomon, M., Barton, M. D., & Foden, J. (2008). The Cu Stockwork and Massive Sulfide Ore of the Fetais Volcanic-hosted Massive Sulfide deposit, Aljustrel, Iberian Pyrite Belt, Portugal: a mineralogical, fluid inclusion, and isotopic investigation. *Economic Geology*. v.103, pp. 241-267.
- Jorge, R. (2000). *Estudo mineralógico e metalogenético do depósito manganésífero de Soloviejo, Huelva, Espanha* (Tese de Mestrado não publicada). Universidade de Lisboa. Portugal.
- Large, R. R. (1992). Australian Volcanic-hosted Massive Sulfide Deposits: features, styles and genetic models. *Economic Geology*. v.87, pp. 471-510.
- Large, R. R., Gemmel, J. B., & Paulick, H. (2001). The Alteration Box Plot: A Simple Approach to Understanding the Relationship between Alteration Mineralogy and Lithogeochemistry Associated with Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits. *Economic Geology*. v.96, pp. 957-971.
- Leistel, J. M., Marcoux, E., Thiéblemont, D., Quesada, C., Sánchez, A., Almodóvar, G. R., Pascual, E., Sáez, R. (1998). The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt. *Mineralium Deposita*. v.33, pp. 2-30.
- Leitão, J. C. (1992). The Aljustrel overthrust problem in view of the new evidence from the Sto. Antão area. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*. v.78, 2, pp. 97-102.
- MacLean, W. H., & Barrett, T. J. (1993). Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Journal of Geochemical Exploration*. v.48, pp. 109-133.
- McDonough, W. F., & Sun, S. -s. (1995). The composition of the Earth. *Chemical Geology*. v.120, pp. 223-254.

- McPhie, J., Doyle, M. G., & Allen, R. L. (1993). *Volcanic textures: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*. University of Tasmania, CODES, Hobart.
- Mirão, J. (1996). *Sedimentos químicos de Neves Corvo: a unidade jaspes e carbonatos, JC* (Tese de Mestrado não publicada). Universidade de Lisboa. Portugal.
- Mitjavila, J., Marti, J., & Soriano, C. (1997). Magmatic Evolution and Tectonic Setting of the Iberian Pyrite Belt Volcanism. *Journal of Petrology*. v.38, 6, pp. 727-755.
- Munhá, J. (1983). Hercynian magmatism in the Iberian pyrite belt. In Lemos de Sousa, M.J. and Oliveira, J.T., (Eds.) *The Carboniferous of Portugal: Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*. v.29, pp. 39-81.
- Munhá, J. (1990). Metamorphic evolution of the South Portuguese/Pulo do Lobo Zone. In Dallmeyer, R.D., & Martinez Garcia E. (Eds). *Pre-Mesozoic geology of Iberia: Berlin*. Springer-Verlag. pp. 363-368.
- Munhá, J., & Kerrich, R. (1980). Sea Water Basalt Interaction in Spilites From the Iberian Pyrite Belt. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. v.73, pp. 191-200.
- Oliveira, J. T. (1990). The marine Carboniferous of South Portugal: a stratigraphic and sedimentological approach. In R.D. Dallmeyer, & E. Martinez Garcia (Eds.), *Pre-Mesozoic geology of Iberia: Berlin*. Springer-Verlag. pp. 333-347.
- Oliveira, J. T., Relvas, J., Pereira, Z., Matos, J., Rosa, C., Munhá, J., . . . Pinto, A. (2013). Geologia Sul Portuguesa, com ênfase na estratigrafia, vulcanologia física, geoquímica e mineralizações da faixa piritosa. In A. Araújo, R. Dias, J. C. Kulberg, & P. Terrinha, *Geologia de Portugal*. Vol. I, pp. 765-973. Escolar Editora.
- Onézime, J., Charvet, J., Faure, M., Chauvet, A., & Panis, D. (2002). Structural evolution of the southernmost segment of the West European Variscides: the South Portuguese Zone (SW Iberia). *Journal of Structural Geology*. v.24, pp. 451-468.
- Pereira, Z., Matos, J. X., Fernandes, P., & Oliveira, J. T. (2010). Qual a idade mais antiga da Faixa Piritosa? Nova idade Givetiano inferior para o Grupo Filito-Quartzítico (Anticlinal de S. Francisco da Serra, Faixa Piritosa). *Revista Electrónica de Ciências da Terra, Geosciences On-line Journal*, 1645-0388, ISSN. v.17, 13, pp. 1-4.
- Pereira, Z., Matos, J., & Oliveira, J. T. (2007). Devonian and Carboniferous palynostratigraphy of the South Portuguese Zona, Portugal - An overview. *Comunicações Geológicas*. v.94, pp. 53-79.
- Peter, J.M. & Scott, S.D. (1998). Windy Craggy, NW British Columbia: The world's largest Besshi deposit. In Barrie, C.T. & Hannington, M.D. (Eds.). *Volcanic-associated massive sulfide deposits – Processes and examples in modern and ancient settings: Reviews In Economic Geology*. v.8. Society of Economic Geologists, Inc. pp. 295-329
- Quesada, C. (1991). Geological constraints on the Paleozoic tectonic evolution of tectonostratigraphic terranes in the Iberian Massif. *Tectonophysics*. v.185, pp. 225-245.
- Quesada, C. (1998). A reappraisal of the structure of the Spanish segment of the Iberian Pyrite Belt. *Mineralium Deposita*. v.33, pp. 31-44.

- Reed, S. (2005). *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology* (2 ed.). Cambridge University Press.
- Relvas, J.M.R.S. (1991). Estudo Geológico e Metalogenético da Área de Gavião, Baixo Alentejo. (Tese equivalente a mestrado apresentada no âmbito de Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, não publicada). Universidade de Lisboa. Portugal.
- Relvas, J.M.R.S. (2000). Geology and metallogenesis at the Neves-Corvo deposit, Portugal (Tese de Doutoramento não publicada). Universidade de Lisboa. Portugal.
- Relvas, J.M.R.S., Barriga, F.J.A.S., & Longstafee, F.J. (2006b). Hydrothermal alteration and mineralization in the Neves-Corvo volcanic-hosted massive sulfide deposit, Portugal: II. Oxygen, hydrogen and carbon isotopes. *Economic Geology*. v.101, pp. 791-804.
- Relvas, J.M.R.S., Barriga, F.J.A.S., Carvalho, J.R.S, Matos, J.X., Rosa, C., & Pereira, Z. (2011). Structure, stratigraphy and hydrothermal alteration at the Gavião orebodies, Aljustrel: reconstruction of a dismembered ore-forming system at the Iberian Pyrite Belt and implications for exploration. Antofagasta, Chile: 11 th SGA Biennial Meeting.
- Relvas, J.M.R.S., Barriga, F.J.A.S., Ferreira, A., Noiva, P. C., Pacheco, N., & Barriga, G. (2006a). Hydrothermal alteration and mineralization in the Neves-Corvo volcanic-hosted massive sulfide deposit, Portugal. I. Geology, mineralogy, and geochemistry. *Economic Geology*. v.101, pp. 753-790.
- Ribeiro, A., & Silva, J. B. (1983). Structure of the South Portuguese zone. In M. J. Lemos de Sousa, & J. T. Oliveira, *The Carboniferous of Portugal: Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*. v. 29, pp. 83-89.
- Ribeiro, A., Antunes, M., Ferreira, M., Rocha, R., Soares, A., Zbyszewski, G., . . . Monteiro, J. (1979). Introduction à la Géologie Générale du Portugal. *Serviços Geológicos de Portugal*. pp. 114.
- Rosa, C., McPhie, J., & Relvas, J. (2010). Type of volcanoes hosting the massive sulfide deposits of the Iberian Pyrite Belt. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. v.194, 4, pp. 107-126.
- Sáez, R., Pascual, E., Toscano, M., & Almodóvar, G. R. (1999). The Iberian type of volcano-sedimentary massive sulphide deposits. *Mineralium Deposita*. v.34, pp. 549-570.
- Schermerhorn, L.J.G., 1978, Epigenetic magnesian metasomatism or syngenetic chloritite metamorphism at Falun and Orijärvi. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*. v.87, pp. B162-B167.
- Schermerhorn, L.J.G., & Stanton, W. I. (1969). Folded overthrust at Aljustrel (South Portugal). *Geological Magazine*. v.106, 2, pp. 130-141.
- Shikazono, N., Hoshino, M., Utada, M., Nakata, M., & Ueda, A. (1998). Hydrothermal carbonates in altered wall rocks at the Uwamuki Kuroko deposits, Japan. *Mineralium Deposita*. V.33, pp 346-358
- Silva, J., Oliveira, J.T, & Ribeiro, A. (1990). Structural outline. In R. D. Dallmeyer & E. Martinez Garcia (Eds.), *Pre-Mesozoic geology of Iberia: Berlin*. Springer-Verlag. pp. 348-362.

- Sylvester, P. J. (2012). Use of the Mineral Liberation Analyzer (MLA) for mineralogical studies of sediments and sedimentary rocks. *Mineralogical Association of Canada Short Course Series*. v.42, pp. 1-16.
- Thiéblemont, D., Pascual, E., & Stein, G. (1998). Magmatism in the Iberian Pyrite Belt: petrological constraints on a metallogenic model. *Mineralium Deposita*. v.33, pp. 98-110.
- Tivey, M. K. (2007). Generation of seafloor hydrothermal vent fluids and associated mineral deposits. *Oceanography*. v.20, 1, pp. 50-65.
- Tornos, F. (2006). Environment of formation and styles of volcanogenic massive sulfides: The Iberian Pyrite Belt. *Ore Geology Reviews*. v.28 pp. 259-307.
- Tornos, F. (2008). La Geología y Metalogenia de la Faja Pirítica Ibérica. *Revista de la sociedad española de mineralogía*. n.10, pp. 13-23.
- Tornos, F., Solomon, M., Conde, C., & Spiro, B. (2008). Formation of the Tharsis Massive Sulfide Deposit, Iberian Pyrite Belt: Geological, Lithogeochemical, and Stable Isotope Evidence for Deposition in a Brine Pool. *Economic Geology*. v.103, pp. 185-214.
- Whitney, D. L., & Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*. v.95, pp. 158-187.



## **11. Anexos**

---

**ANEXO I** – *Logs* descritivos das sondagens estudadas  
(*Re-logging*)

## Glossário de Abreviaturas

(Logs - ALMINA SA)

### Sedimentos

TER	Terciário
ARG	Argilitos (xistos)
WKE	Grauvaques
ARGN	Argilitos negros piritosos e grafitosos
VSD	Sedimentos vulcânicos muito finos de cor verde e violeta ( <i>Volcanic sediments</i> )
VAT	Sedimentos vulcânicos muito finos de cor cinza a negro ( <i>Volcanic ash tuff</i> )
JSP	Jaspes
CHT	Chertes

### Rochas

#### Vulcânicas

RUN / RHY	Riolitos de fácies incerta
fRHY	Riolitos porfíricos com cristais de feldspato.
qRHY	Riolitos porfíricos com cristais de quartzo.
fqRHY	Riolitos porfíricos com cristais de feldspato e quartzo.

#### Mineralização

MSX	Fácies de sulfuretos maciços
STWK	Fácies Stockwork
CHF	Fácies Chertes e/ou Jaspes (>50% chertes e/ou jaspes)
CUF	Fácies Cobre (>1,3% Calcopirite)
ZNF	Fácies Zinco (>4,5% esfalerite)
PYF	Fácies Pirite (Cu < 1.3 e ou Zn < 4.5)
DPY; BPY; SPY	Disseminated; Banded; Stringer: Pyrite
DGN; BGN; SGN	Disseminated; Banded; Stringer: Galena
DSL; BSL; SSL	Disseminated; Banded; Stringer: Sphalerite
DCP; BCP; SCP	Disseminated; Banded; Stringer: Chalcopyrite

#### Alteração

SIL	Siliciosa
SER	Sericítica
CHL	Clorítica
EPI	Epídoto
CAL	Carbonatada

#### Outros

FLT	Falha
CVN	Veios de calcite
QVN	Veios de quartzo
MAG	Magnetite
GOSS	Gossan
NC	Sem testemunho

Os re-logs adiante apresentados, relativos às sondagens ES-13001, ES-13002 e ES-12001, foram realizados tendo por base os logs originais destas sondagens, disponibilizados pela ALMINA, SA e produzidos, em 2013, pela equipa de geologia da empresa GEOPLANO CONSULTORES, SA.

Sondagem ES13001

**Tabela 11.1 - Re-logging da sondagem ES13001**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES13001	0,00	13,00	ARG	WKE			Argilitos (xistos) cinzentos escuros a negros, muito alterados e meteorizados, total ou parcialmente (esta última é expressa ao longo de planos de descontinuidade como fraturação/xistosidade). Esta alteração traduz-se por colorações acastanhadas. Provável oxidação. Grauvaques pouco visíveis mas presentes. [9,00m] - Sx: 28°CA.	ARG	13,00		
ES13001	13,00	25,10	ARG	WKE	QVN		Argilitos (xistos) cinzentos a negros gradualmente menos alterados e progressivamente mais intercalados com grauvaques cinzentos de granularidade fina a média, sucessivamente mais possantes do topo para a base da litologia (milimétricos a decimétricos). Fracturação com alguma argilização. Ocorrem raros veios milimétricos de quartzo e carbonatos. [20,80m] - S0: 44°CA, S1: 32°CA; [13,20m] - S0: 20°CA, S1: 4°CA		12,10		
ES13001	25,10	63,10	WKE	ARG	QVN		Grauvaques cinzentos de granularidade fina a média com intercalações milimétricas a centimétricas, ocasionais, de xistos negros que apresentam espessura regular, ou formas lenticulares ou arredondadas. O testemunho é intersectado por alguns veios de quartzo e carbonato, na base e topo do mesmo, com diversas orientações, algumas das quais subparalelas a Sx. Ocorrência de clorite em veios de quartzo. A fracturação é intensa á qual se associa alguma argilização (Falha?). [41,20m] - Sx: 40°CA; [50,70m] - Sx: 37°CA; [56,60m] - Sx: 45°CA	WKE	38,00		
ES13001	63,10	71,00	ARG	WKE	QVN		Argilitos (xistos) cinzentos escuros a negros interaclados de forma rítmica e regular por grauvaques cinzentos geralmente finos, de espessura milimétrica a centimétrica (raros). Ocorrência de abundantes veios de quartzo e carbonatos paralelos a Sx. Fracturação e argilização pontual. [68,10m] - Sx: 35°CA;	ARG	7,90		
ES13001	71,00	95,00	WKE	ARG	QVN		Grauvaques cinzentos de granularidade fina a média, pouco fracturados, intercalados por raros níveis xistosos que ocorrem em lenticulas variavelmente deformadas (alongamento segundo Sx). Testemunho intersectado por veios milimétricos e centimétricos de quartzo e carbonatos, subparalelos a Sx. A clorite está presente nestes veios. Pontual brechificação e argilização (77,10m - 77,30m). [77,87m] - Sx: 24°CA; [80,00m] - Sx: 22°CA; [88,00m] - Sx: 14°CA; <u>contacto inferior</u> : gradual	WKE	24,00		
ES13001	95,00	128,70	ARGN	WKE	QVN	DPY	Argilito (xisto) negro com frequentes e regulares intercalações (milimétricas a centimétricas) de grauvaques cinzentos de granularidade fina com aumento progressivo do espaçamento entre níveis. Ocorrência de veios de quartzo leitoso com carbonatos, subparalelos a Sx e outros (raros) mais espessos e subverticais. Py ocorre nos xistos, muito fina e disseminada. [96,00m] - Sx: 40°CA; [106,35m] - S0: 50°CA, S1: 28°CA; [112,30m] - S0: 42°CA, S1: 36°CA; [122,15m] - S0: 50°CA, S1: 30°CA. <u>contacto inferior</u> : gradual	ARGN	33,70		

**Tabela 11.2 – Re-logging da sondagem ES13001 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia		Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>a</sup> -metragem)	
ES13001	128,70	138,00	WKE	ARG	QVN		Grauvaque cinzento de granularidade fina com intercalações milimétricas a centimétricas (topo, transição da litologia anterior) de xistos negros que se tornam progressivamente mais raras. Dispersão de lenticulas mm de xistos negros na matriz grauvacóide (137,00m - 138,00m). Ocorrência de Py fina e disseminada, rara. [129,50m] - S0: 56°CA, S1: 52°CA. <u>contacto inferior</u> : abrupto.	WKE		9,30		
ES13001	138,00	166,00	ARG	WKE	QVN	DPY	Argilito (xisto) cinzento a negro com intercalações milimétricas a decimétricas, por vezes rítmicas, de grauvaques cinzentos, finos a grosseiros. Presença de raros veios de quartzo e carbonatos, subparalelos a Sx e ocasionalmente irregulares. Ocorrência de Py disseminada. [144,80m] - Sx: 40°CA; [146,60m] - Sx: 50°CA; [154,34m] - Sx: 46°CA; [165,45m] - Sx: 50°CA; <u>contacto inferior</u> : gradual	ARG		28,00		
ES13001	166,00	172,60	WKE	ARG	QVN		Grauvaques cinzentos de granularidade fina a média, pontualmente intercalado com argilitos (xistos) cinzentos escuros. Grauvaque gradualmente mais fraturado e argilizado. Fraturas pervasivas preenchidas por veios de quartzo e carbonatos irregulares. Na base da litologia ocorre um veio/nível de quartzo de grande possança (~3m) com alguns <i>stringers</i> finos de sulfuretos (Py e Cpy), e alguma clorite associada. [166,40] - Sx: 47° CA.	WKE	QVN	6,60		
ES13001	172,60	245,80	WKE	ARG	QVN		Grauvaque cinzento, de granularidade fina a grosseira, com frequentes intercalações milimétricas a decimétricas de argilitos (xistos) negros por vezes piritosos, irregulares ou subparalelos a Sx. Veios de quartzo e carbonato surgem igualmente com formas irregular ou subparalelos a Sx, a preencher fraturas. Rara clorite em veios de quartzo (208,85m). [173,30] - S0: 46°CA; [180,70] - Sx: 20°CA; [194,00] - Sx: 30°CA; [195,80] - S0: 40°CA; [202,50] - Sx: 50°CA; [210,30] - Sx: 14°CA; [214,65] - S0: 45°CA, S1: 32°CA; [225,00] - Sx: 55°CA	WKE		73,20		
ES13001	245,80	252,20	ARG	WKE			Argilitos (xistos) cinzentos a negros, por vezes piritosos, intercalados de forma rítmica e regular por grauvaques cinzentos de granularidade fina (siltítica). Ocorre Py incipiente e finamente disseminada nos xistos bem como raros veios milimétricos e irregulares de quartzo. [247,40m] - S0: 40°CA, S1: 30°CA	ARG		6,40		
ES13001	252,20	313,00	WKE	QVN			Grauvaque cinzento, de granularidade fina a grosseira, com frequentes intercalações milimétricas (lenticulares) a decimétricas de argilitos (xistos) negros. Ocorrência de veios de quartzo e carbonatos finos (milimétricos) e orientados segundo Sx, bem como alguns irregulares. [258,00] - Sx: 22°CA; [266,15m] - S0: 74°CA; S1: 42°CA; [274,00m] - Sx: 36°CA; [286,20m] - Sx: 12°CA; [291,40m] - S0: 70°CA, S1: 60°CA; [301,00m] - Sx: 42°CA	WKE		60,80		



**Tabela 11.3 – Re-logging da sondagem ES13001 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia		Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES13001	313,00	331,00	WKE	ARG			Grauvaque cinzento-acastanhado muito homogêneo, apresentando intercalações de xistos cinzentos a negros nas transições de base e topo para litologias adjacentes. Zona fortemente argilizada (327,40m - 327,80 m). [330,50] - S0: 70°CA, S1: 42°CA	WKE		18,00		
ES13001	331,00	447,26	WKE	ARG	QVN	DPY	Grauvaques cinzentos a cinzentos escuros, finos a grosseiros com algumas intercalações centimétricas a decimétricas de xistos negros. Ocorrência de veios de quartzo e carbonatos milimétricos e decimétricos (396,10m). Clorite no interior do quartzo. [339,90m] - S0: 58°CA, S1: 44°CA; [359,40m] - Sx: 55°CA; [386,10m] - S0: 60°CA, S1: 25°CA; [406,95m] - Sx: 50°CA; [435,25m] - S0: 54°CA, S1: 30°CA			116,26		
ES13001	447,26	459,00	ARG	WKE	QVN	DPY	Argilitos (xistos) negros, fraturados e argilização incipiente, com intercalações centimétricas de grauvaques cinzentos de granularidade fina a média. Ocorrem raros veio de quartzo com alguns carbonatos e clorite associados. A Py (rara) surge disseminada e muito fina. [448,00m] - Sx: 30°CA; [455,00m] - Sx: 50°CA.	ARG		11,74		
ES13001	459,00	498,50	WKE	ARG	QVN	DPY	Grauvaques cinzentos de granularidade fina, com intercalações centimétricas a decimétricas de xistos negros, por vezes fraturados e com evidências de brechificação e argilização (474m - 476m Falha?). É visível Py disseminada (rara) e alguns veios de quartzo e carbonatos com alguma clorite. Veio de quartzo de grande possança (~1,90m) na base da litologia, com carbonatos e rara clorite presente. Surge Py (rara) visível em fraturas.[459,70m] - Sx: 50°CA; [477,00m] - Sx: 24°CA; [487,30m] - S0: 65°CA, S1: 26°CA. <u>Contacto inferior:</u> abrupto.	WKE	QVN	39,50		
ES13001	498,50	558,80	WKE	ARG	QVN	DPY	Grauvaques cinzentos de granularidade fina a grosseira com frequentes intercalações de xistos negros. Veios milimétricos a decimétricos de quartzo com algum carbonato, surgem com espaçamentos irregulares, alguns em bandas difusas como frentes de silicificação do encaixante. Py ocorre de forma disseminada e bandada. [519,40m] - Sx: 52°CA; [531,00m] - Sx: 50°CA; [541,50] - Sx: 42°CA. <u>Contacto inferior:</u> muito gradual	WKE		60,30		

**Tabela 11.4 – Re-logging da sondagem ES13001 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES13001	558,80	578,10	VSD	QVN			Tufitos esverdeados de granularidade muito fina, laminados, com intercalações milimétricas verdes escuras, espaçadas de forma regular, e de bandas centimétricas a decimétricas de tonalidades arroxeadas (Mn?). Ocorrência de veios de quartzo leitoso com zonas acastanhadas, geralmente são subparalelos a Sx e tornam-se mais irregulares junto á base da litologia. [560,00m] - Sx: 40°CA; [569,33m] - Sx: 60°CA; [576,76m] - Sx: 57°CA. <u>Contacto inferior:</u> gradual com alguma fracturação.	VSD	19,30	1 - 567,78 2 - 568,11	
ES13001	578,10	597,40	VAT	ARGN	QVN		Tufitos cinzentos de granularidade fina, laminados, com frequentes intercalações e lenticulas mm alongadas de xistos negros. Ocorrem veios de quartzo e carbonatos cm a dm subparalelos a Sx com intensificação de bandas irregulares em profundidade. Zona inicial com xistos grafitosos e fracturação pronunciada.[587,20m] - Sx: 30°CA; [587,85m] - Sx: 40°CA; [594,90m] - Sx: 50°CA. <u>Contacto inferior:</u> gradual para tonalidades mais esverdeadas.	VAT	19,30	3 - 594,70	
ES13001	597,40	628,00	VSD	VAT			Tufitos verdes acinzentados de granularidade fina, laminados, alternam de forma regular e gradual com níveis mais acinzentados, constituídos por bandas ou lenticulas (mm), mais ou menos irregulares de xisto negro. Ocorrem raras venulações muito finas de quartzo e carbonatos. [599,40m] - Sx: 40°CA; [611,38m] - Sx: 55°CA; [616,40m] - Sx: 40°CA; <u>Contacto inferior:</u> muito gradual.	VSD	30,60	4 - 625,60	
ES13001	628,00	655,00	VAT	ARGN	QVN	DPY	Tufitos cinzentos, de granularidade fina (por vezes siltíticos), laminados, com frequentes intercalações centimétricas a decimétricas de xistos negros que podem igualmente surgir como lenticulas orientadas segundo Sx. Alguns veios finos de carbonatos e de quartzo mais espessos estão presentes, geralmente orientados segundo a fraturação ou perpendiculares a esta. A transição para a litologia seguinte surge com passagem por níveis tufíticos mais esverdeados (651,00m - 655,00m). Py rara disseminada. [654,50m] - Sx: 25°CA; [648,20m] - Sx: 25°CA. <u>Contacto inferior:</u> gradual	VAT	27,00	5 - 645,00	
ES13001	655,00	684,70	ARGN	QVN	BPY		Argilitos (xistos) negros grafitosos e algo piritosos. Sequência muito fracturada e pontualmente argilizada em zonas fracturadas. Lenticulas mais escuras de xisto englobadas numa matriz ligeiramente menos escura (matéria carbonosa variável). Aumento gradual da quantidade de veios de quartzo e carbonatos milimétricos a centimétricos, subparalelos a Sx, com evidências de alteração da rocha encaixante (clorite-sericite?) (676,80m - 680,20m) . [663,85] - Sx: 20°CA; [673,20] - Sx: 35°CA. Py ocorre de forma rara (685,90m) com cristais euédricos e bandada, subparalelamente a Sx. <u>Contacto inferior:</u> abrupto	ARGN	29,70	6 - 684,27	

**Tabela 11.5 – Re-logging da sondagem ES13001 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES13001	684,70	738,20	fRHY	SER	CHL	SIL	Tufo riolítico esverdeado a acinzentado constituído por fenocristais milimétrico a centimétricos de feldspato e bandas de alteração siliciosa com muitos carbonatos associados (carbonatação?) alongadas segundo Sx. A matriz é dominada por alteração sericitica e cloritica, esta última visível em bandas milimétricas de tonalidades mais escuras. Rara Py muito fina e disseminada. [690,90m] - Sx: 50°CA; [696,25m] - Sx: 60°CA; [706,80m] - Sx: 55°CA; [723,30m] - Sx: 50°CA; [737,15m] - Sx: 47°CA. <u>Contacto inferior:</u> Muito gradual	Vulcânicas	53,50	7 - 687,10 8 - 691,83 9 - 711,80 10 - 725,60 11 - 736,10	
ES13001	738,20	747,00	RHY	SER	CHL	BPY	Tufo riolítico afanítico, esverdeado e laminado, homogêneo, com alteração pronunciada (sericitização) e correspondente obliteração de elementos texturais. Alguma clorite associada e evidências de silicificação. Transição brusca para zona laminada e bandada. Py ocorre de um modo geral bandada, fina a grosseira, associada a zonas menos silicificadas. [742,50m] - Sx: 48°CA; [743,85m] - Sx: 48°CA; [745,80m] - Sx: 52°CA[] - Sx: °CA[] - Sx: °CA. <u>Contacto inferior:</u> Gradual com diminuição da silicificação.		8,80	12 - 739,90 13 - 740,95 14 - 744,18	
ES13001	747,00	776,00	RHY	SER	CHL	QVN	Tufos riolíticos afaníticos, acinzentados e laminados, homogêneos, evidenciando sericitização, zonas algo silicificadas, e raras venulações cloritizadas. Aumento progressivo da fracturação e de veios acastanhados de carbonatos bem como de veios centimétricos de quartzo (756,00m), ainda assim raros. Surgem bandas centimétricas, de rocha brechificada e argilizada (767,90m). [749,70m] - Sx: 40°CA; [759,70m] - Sx: 45°CA; [759,90m] - Sx: 45°CA; [773,00m] - Sx: 42°CA. <u>Contacto inferior:</u> gradual e pouco visível pela fracturação.		29,00	15 - 753,70 16 - 761,60 17 - 772,75	
ES13001	776,00	781,00	RHY	FLT	SER	DPY	[Falha]. Tufos riolíticos afaníticos, acinzentados e laminados, homogêneos evidenciando sericitização, bem como intensa fracturação (geralmente segundo Sx) e argilização associada a caixa de falha. Py (rara) disseminada. <u>Contacto inferior:</u> gradual.	Vulcânicas	5,00		
ES13001	781,00	783,85	MSX	PYF	RHY	BPY	<u>Fácies Pirítica.</u> Zona de sulfuretos semi-maciços com níveis intersticiais cloritizados (reliquias da rocha encaixante). Py (>30%) ocorre disseminada ou bandada com granularidade fina a grosseira. Rara Cpy pode ocorrer bandada no interior de massas piríticas. Esfalerite ocorre em bandados ou venulações cinzentas, finas. [782,66m] - Sx: 30°CA;	MSX	2,85	18 - 783,30	
ES13001	783,85	824,40	STWK	PYF	CHL	SPY	<u>Fácies de Stockwork Pirítico.</u> Tufo riolítico completamente cloritizado com bandas milimétricas a centimétricas, cinzentas azul-esverdeadas (sericite?) que decrescem de frequência progressivamente. Intercalação com Py de grão fino a grosseiro em bandas ou em <i>stringers</i> . A Py pode ainda ocorrer disseminada e aglomerada em zonas exclusivamente cloritíticas. [784,45m] - Sx: 42°CA; [794,90m] - Sx: 50°CA; [802,60m] - Sx: 62°CA; [817,00m] - Sx: 52°CA; <u>Contacto inferior:</u> gradual	STWK	40,55	19 - 785,70 20 - 793,27 21 - 796,60 22 - 805,20 23 - 814,50 24 - 823,10	

**Tabela 11.6 – Re-logging da sondagem ES13001 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia		Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES13001	824,40	852,35	STWK	PYF	SPY	SER	<u>Fácies de Stockwork Pirítico</u> . Tufo riolítico afanítico relativamente pouco cloritizado. Diminuição dos níveis cloriticos evidenciados na litologia anterior. Altenância com zonas sericitizadas mais claras. A Py ocorre em stringers e bandas mm a cm (raras), alguma evidenciando tonalidades acastanhadas de oxidação.[826,60m] - Sx: 38°^CA; [846,00m] - Sx: 40°^CA;	STWK		27,95	25 - 826,90 26 - 835,70 27 - 837,15	
ES13001	852,35	858,00	STWK	FLT	DPY		[Falha]. <u>Fácies de Stockwork Pirítico</u> . Fracturação e argilização da rocha cloritizada. Py rara, muito fina e disseminada (857,00m).	FLT (STWK)		5,65		
ES13001	858,00	869,50	STWK	PYF	CHL	SER	<u>Fácies de Stockwork Pirítico</u> . Tufo riolítico afanítico muito fracturado, laminado, (segundo direcções preferenciais de Sx), cloritizado e gradualmente mais sericitizado. A cloritização diminui em profundidade, estando associada a bandas de Py. A Py surge predominantemente com granularidade fina a grosseira em bandas e <i>stringers</i> . A Cpy é muito rara.[866,80m] - Sx: 48°^CA; [859,90m] - Sx: 45°^CA; [864,70m] - Sx: 42°^CA;	STWK		11,50		
ES13001	869,50	887,05	STWK	CUF	SER	CHL	<u>Fácies de Stockwork Cuprífero</u> . Tufos riolíticos afaníticos, acinzentados, laminados. Ocorrência de Cpy bandada, disseminada ou em <i>stringers</i> por vezes associada a Py fina a grosseira numa matriz sericitizada e com bandas de clorite. Surgem ocasionais veios e bandas irregulares de quartzo. [870,55m] - Sx: 40°^CA; [979,50m] - Sx: 42°^CA;	STWK	CuF	17,55	28 - 870,33 29 - 873,55 30 - 874,54 31 - 875,50 32 - 881,35 33 - 881,70	
ES13001	887,05	901,80	RHY	SPY	BPY	QVN	Tufos riolíticos afaníticos, cinzentos, sericitizados e com abundantes bandas cloritizadas às quais se associam <i>stringers</i> e bandas de Py fina a grosseira. Ocorrência de veios de quartzo milimétricos contendo clorite e sericite(?). [893,60m] - Sx: 44°^CA; [894,70m] - Sx: 50°^CA;	Vulcânicas		14,75	34 - 888,20 35 - 893,45 36 - 901,50	
ES13001	901,80	905,45	STWK	PYF	SCP	QVN	<u>Fácies de Stockwork Pirítico</u> . Tufos riolíticos finos e cinzentos a esverdeados, laminados e sericitizados. Cloritização em menor expressão. Py fina a grosseira em bandas mm a centimétricas. <i>stringers</i> de Cpy ocorrem associadas á Py e a veios milimétricos a centimétricos de quartzo.[904,76m] - Sx: 40°^CA;	STWK		3,65	37 - 901,90 38 - 902,50 39 - 903,80	
ES13001	905,45	953,50	RHY	SER	QVN	DPY	Tufos riolíticos afaníticos cinzentos, sericitizados e cloritizados. Exporádicas bandas milimétricas a centimétricas de Py fina a grosseira (939,20m). [912,50m] - Sx: 35°^CA; [939,80m] - Sx: 40°^CA; [951,00m] - Sx: 42°^CA;	Vulcânicas		48,05	40 - 912,90 41 - 924,20 42 - 941,73 43 - 943,50 44 - 950,82 45 - 953,95	
	953,50						Fim de sondagem.					

Sondagem ES13002

**Tabela 11.7 – Re-logging da sondagem ES13002**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES13002	0,00	1,13	WKE				Zona de alteração superficial. Meteorização intensa do nível superior de grauvaques. Processo pedogenético incipiente e inicial. <u>Contacto inferior:</u> Gradual.	WKE	1,13		
ES13002	1,13	8,07	WKE	ARG			Grauvaque de granularidade fina a média progressivamente menos alterado, transitando de colorações amarelas acastanhadas, argilizadas, a um cinzento claro da rocha "sã". Intercalações centimétricas de argilitos cinzentos igualmente alterados.	WKE	6,94		
ES13002	8,07	40,00	ARGN	WKE	QVN	DPY	Argilitos (xistos) cinzentos a negros, piritosos, com alguma alteração, intercalados por grauvaques cinzentos de granularidade fina a média. Veios centimétricos a decimétricos ocorrem a preencher fracturas, muitas delas associadas a zona de falha da litologia seguinte. Pirite fina surge disseminada de forma regular. [10,30m] - S0: 18°CA; [35,90m] - S0: 20°CA. <u>Contacto inferior:</u> Abrupto	ARGN	31,93		
ES13002	40,00	49,80	WKE	FLT	ARG	QVN	[Falha] - Grauvaques cinzentos, de granularidade fina a média, muito fracturados e pontualmente brechificados (45,00m - veio de quartzo). Possíveis capas de oxidação amarelas-alaranjadas (44,00m - 46,90m). Intercalação dos grauvaques com níveis xistosos milimétricos a centimétricos fortemente argilizados. <u>Contacto inferior:</u> gradual com diminuição da fracturação.	FLT (WKE)	9,80		
ES13002	49,80	82,10	WKE	ARG	QVN	DPY	Grauvaques cinzentos de granularidade fina a média, homogêneos, intercalados (junto aos limites superior e inferior) por bandas centimétricas de xisto negro ao qual se associa frequentes e milimétricos veios de quartzo e carbonatos orientados segundo aberturas em Sx. Ocorrência de rara Py euédrica (<1 mm) disseminada na matriz grauvaquica. [54,30m] - Sx: 20°CA; [67,00m] - Sx: 10°CA; [71,65m] - Sx: 15°CA; <u>Contacto inferior:</u> gradual	WKE	32,30		
ES13002	82,10	104,30	ARGN	WKE	QVN	DPY	Argilitos (xistos) negros, pontualmente piritosos, intercalados de forma rítmica por grauvaques cinzentos e muito finos, em níveis milimétricos a centimétricos e preferencialmente orientados segundo Sx. A Py surgem nos níveis de xisto negro de forma disseminada. <u>Contacto inferior:</u> Abrupto.	ARGN	22,20		
ES13002	104,30	123,90	WKE	ARG	QVN		Grauvaques cinzentos de granularidade fina a média, homogêneos, intercalados por raras bandas milimétricas a centimétricas de xisto negro que pode igualmente ocorrer em pontuais lenticulas milimétricas no seio dos grauvaques. Surgem ocasionais veios finos de quartzo e carbonatos associados ao xisto, evidenciando intensa difusão e possíveis reacções de silicificação. Os grauvaques apresentam raros veios milimétricos de quartzo, havendo carbonatos na composição do seu cimento. [109,75m] - S0: 80°CA; [115,60m] - Sx: 50°CA; <u>Contacto inferior:</u> Abrupto com aumento acentuado de veios de quartzo.	WKE	19,60		

**Tabela 11.8 – Re-logging da sondagem ES13002 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>a</sup> -metragem)	
ES13002	123,90	157,85	WKE	ARG	QVN		Grauaques cinzentos de granularidade fina a média, com frequentes e por vezes irregulares intercalações de xisto negro, e por vezes percorridos por inumeros veios milimétricos e centimétricos de quartzo (e carbonatos) segundo variadas direcções de fracturação preexistente, muitas vezes semelhante a Sx. A Py (rara) pode ocorrer de forma disseminada nos grauaques. [125,40m] - Sx: 45°^CA; [134,30m] - Sx: 50°^CA; [142,10m] - Sx: 85°^CA; <u>Contacto inferior</u> : pouco perceptível. Fracturação do tarolo.	WKE	33,95		
ES13002	157,85	251,20	WKE	ARG	QVN		Grauaques cinzentos de granularidade fina a grosseira (2 mm), geralmente homogêneo, é intercalado esporadicamente por xisto cinzentos a negros em níveis milimétricos a decimétrico, concordantes com Sx e regulares. Lenticulas milimétricas de xisto podem igualmente ocorrer no seio dos grauaques. Veios de quartzo e carbonatos distribuem-se ocasionalmente pelo testemunho, sobretudo nas zonas mais xistentas onde a frequência e penetratividade dos mesmos é maior. Nível silificada (246,10m). [202,90m] - S0: 45°^CA; [255,60m] - Sx: 42°^CA; <u>Contacto inferior</u> : gradual		93,35		
ES13002	251,20	256,70	ARG	WKE	QVN		Argilitos (xistos) negros intercalados de forma rítmica e regular por grauaques cinzentos de granularidade fina e de espessuras variáveis (milimétricas a decimétricas). Fracturação e argilização pontual. Ocorrência de abundante clorite (?) associada a veio decimétrico de quartzo (254,80m). [255,60m] - Sx: 42°^CA; <u>Contacto inferior</u> : gradual	ARG	5,50		
ES13002	256,70	281,75	WKE	ARG	QVN		Grauaque cinzento, de granularidade fina a média, com interclações milimétricas (irregulares) a decimétricas de xistos negros nos primeiros metros do testemunho, com tendência para a diminuição em profundidade. Ocorrência de veios ocasionais de quartzo com carbonatos, centimétricos, a precher fracturas de baixo ângulo com a CA.	WKE	25,05		
ES13002	281,75	282,75	ARG	FLT	WKE	QVN	[Falha] - Zona de falha com xistos negros intercalados com grauaques de grão fino, brechificados e argilizados. Raras venulações de quartzo, por vezes grosseiras com brechificação associada. <u>Contacto inferior</u> : Abrupto	ARG	1,00		
ES13002	282,75	290,30	WKE	ARG	QVN		Grauaques cinzentos claros de granularidade fina a média com intercalações finas de xistos negros no troço inicial. Transição paa zona mais xistentas. Fracturação com orientação predominante de Sx. Ocorrência de veios finos mas raros de quartzo e carbonatos. [288,85m] - S0: 80°^CA; <u>Contacto inferior</u> : Abrupto	WKE	7,55		



**Tabela 11.9 – Re-logging da sondagem ES13002 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>a</sup> -metragem)	
ES13002	290,30	326,80	WKE	ARG			Grauvauque cinzento claro, de granularidade fina a grosseira, muito homogêneo e com raras intercalações de xistos negros, geralmente sob forma de lenticulas centimétricas (323,00m). Ocorrência de rara Py disseminada. Fracturação de baixo ângulo com a CA (319,40m).	WKE	36,50		
ES13002	326,80	331,80	WKE	FLT	ARG	QVN	[Falha] - Grauvaques cinzentos, de granularidade fina a grosseira, semelhantes às litologias superior e inferior, muito fracturados e argilizados. Brechificação e argilização associadas a falha (330,25m - 331,80m). <u>Contacto inferior</u> : Abrupto (base da brechificação).	FLT (WKE)	5,00		
ES13002	331,80	355,30	WKE	ARG	QVN		Grauvaques cinzentos, de granularidade fina a grosseira (>2 mm), com frequentes intercalações lenticulares de xistos negros que aumentam progressivamente para a base na litologia. Ocorrência de veio de quartzo e carbonato de dimensões variadas (milimétricos a decimétricas) com destaque para a transição para os xistos inferiores no qual se encontram um veio de aprox. 1 m. Cimento carbonatado. [340,00m] - S0: 50°^CA, S1: 22°^CA;	WKE	23,50		
ES13002	355,30	396,15	ARG	WKE	QVN	DPY	Argilito (xisto) cinzento escuro com frequentes e regulares intercalações de grauvaques cinzentos. As duas litologias apresentam proporções quase semelhantes entre os limites considerados. Ocorrência de veios milimétricos a centimétricos de quartzo com algum carbonato associado. Estes veios orientam-se preferencialmente segundo Sx. A Py surge disseminada, quer nos xistos, quer nos grauvaques.[361,70m] - S0: 50°^CA, S1: 28°^CA; [366,80m] - Sx: 38°^CA; <u>Contacto Inferior</u> : Gradual	ARG	40,85		
ES13002	396,15	415,00	VAT	QVN			Tufitos finos, laminados, com alternância de níveis cinzentos e esverdeados, que surgem de forma gradual com a diminuição do argilito (xisto) da litologia anterior. Os tufitos surgem com intercalações crescentes de xistos negros, e veios de quartzo e carbonatos, milimétricos a centimétricos geralmente orientados segundo Sx (preenchimento de fracturas em planos de xistosidade). [409,90] - Sx: 60°^CA; [414,85m] - Sx: 58°^CA; <u>Contacto Inferior</u> : Gradual	VAT	18,85		
ES13002	415,00	434,90	VAT	ARGN	QVN		Tufitos finos, acinzentados, com intercalações de xistos negros grafitosos, bem como de abundantes veios de quartzo irregulares e possantes, ou milimétricos a centimétricos, orientados segundo Sx (troço silicificado). [426,10m] - Sx: 42°^CA; <u>Contacto Inferior</u> : Abrupto		19,90		

**Tabela 11.10 – Re-logging da sondagem ES13002 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia		Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES13002	434,90	464,90	VAT	ARGN	FLT	QVN	[Falha] - Tufitos finos e laminados, cinzentos, muito fracturados e argilizados. Brechificação pontual. Tufito gradualmente mais esverdeado, com diminuição progressiva dos veios de quartzo e carbonatos e aumento das intercalações de xisto negro. <u>Contacto Inferior</u> : Abrupto	FLT (VAT)		30,00		
ES13002	464,90	506,25	VAT	ARGN	QVN		Tufitos de granularidade fina, cinzentos, intercalados por xistos negros grafitosos e piritosos que aumentam em profundidade. Raros cristais euédricos de Py são visíveis. Ocorrência de veios de quartzo (e carbonato) dispostos subparalelamente a Sx ou distribuídos de forma irregular.[472,60m] - Sx: 45°^CA; [483,70m] - Sx: 40°^CA;	VAT		41,35	1 - 473,80 2 - 483,90	
ES13002	506,25	520,40	ARGN	QVN			Argilitos (xistos) negros grafitosos e piritosos. Nível de xistos com sulfuretos disseminados (Py euédrica, fina a grosseira). Fracturação considerável do testemunho, aumentando em profundidade. Preenchimento de fracturas por quartzo, de forma irregular, com dimensões variadas, milimétricas a decimétricas (visível um veio com espessura aprox. de 80 cm). [509,50m] - Sx: 40°^CA; [516,50m] - Sx: 40°^CA; [519,50m] - Sx: 46°^CA; <u>Contacto inferior</u> : Abrupto	ARGN		14,15	3 - 508,42	
ES13002	520,40	528,00	VSD	QVN	SIL	JSP	Tufitos finos esverdeados com presença de quantidades consideráveis de quartzo (veio de espessura métrica) que engloba e oblitera partes da litologia encaixante. Transição brusca para zona fortemente silicificada (cherte cinzento azulado) com frequentes impregnações de óxidos de ferro de tonalidades avermelhadas (jasperóide?), onde se observam por vezes bandas centimétricas de sedimento fortemente cloritizado. [521,70m] - Sx: 50°^CA. <u>Contacto inferior</u> : Abrupto.	VSD	QVN	7,60	4 - 522,25	
ES13002	528,00	537,50	TRHY	CHL	DPY		Tufos riolíticos esverdeados (sericitização?), laminados, com cristais milimétricos de feldspato, alongados segundo orientações impostas pela compactação e pela deformação tectónica. Textura <i>fiamme</i> , típica de rochas vulcano-sedimentares. Ocorrência de raros veios milimétricos a centimétricos de quartzo e de Py euédrica, disseminada, com frequência crescente para a base da litologia. [528,00m] - Sx: 35°^CA; [535,00m] - Sx: 80°^CA. <u>Contacto inferior</u> : Abrupto. Limite superior da mineralização.	Vulcânicas		9,50	5 - 522,60 6 - 524,76 7 - 526,58 8 - 528,50 9 - 533,90 10 - 535,05 11 - 536,20	

**Tabela 11.11 – Re-logging da sondagem ES13002 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES13002	537,50	593,60	MSX	PYF	DCP	BSL	<u>Fácies Pirítica.</u> Sulfuretos maciços com predomínio de Py (>>50%) muito fina, ocasionalmente dispersa em cristais milimétricos, por vezes associada a venulações de quartzo e carbonato. A Py ocorre igualmente de forma bandada em estruturas orientadas segundo Sx (herdado da rocha encaixante). Colorações castanhas-alaranjadas reflectem zonas de Py oxidada. A Cpy (rara) ocorre em finos <i>stringers</i> , mas muitas vezes disseminada. Zonas de sulfuretos de tonalidade mais acinzentadas reflectem a presença de esfalerite e galena, reforçado por venulações castanhas-avermelhadas, no caso da primeira. [544,54m] - Sx: 45°CA; [552,50m] - Sx: 40°CA; [578,60m] - Sx: 35°CA; <u>Contacto inferior:</u> Gradual	MSX	56,10	12 - 537,38 13 - 537,72 14 - 539,11 15 - 540,55 16 - 542,00 17 - 544,20 18 - 547,65 19 - 551,29 20 - 554,50 21 - 558,10 22 - 559,43 23 - 562,85 24 - 565,50	25 - 571,45 26 - 573,56 27 - 575,20 28 - 576,70 29 - 581,70 30 - 586,36 31 - 588,29 32 - 593,28
ES13002	593,60	595,00	MSX	ZNF	BPY	BSL	<u>Fácies Zincífera.</u> Zona de sulfureto maciços acinzentada, com esfalerite, muito fina, (594,90m) e Py, bandadas. Ocorrência de <i>stringers</i> avermelhados de esfalerite. A Cpy, rara, surge em <i>stringers</i> , ou finamente disseminada, tal como a galena, e associada a bandas sulfuretadas. [594,10m] - Sx: 45°CA; <u>Contacto Inferior:</u> Gradual.	MSX ZnF	1,40	33 - 594,39	
ES13002	595,00	597,60	MSX	PYF	BPY	SCP	<u>Fácies Pirítica.</u> Sulfuretos maciços com de Py (>50%) muito fina a fina, bandada, com alguma Cpy disseminada. Ocorrência de venulações com carbonato e quartzo distribuídos de forma irregular a pontual (595,80m) e raros veios milimétricos de quartzo (594,90m). [595,90m] - Sx: 38°CA; [596,90m] - Sx: 42°CA; <u>Contacto inferior:</u> Difícil de definir pela intensa fracturação.	MSX	2,60	34 - 596,00 35 - 579,15	
ES13002	597,60	602,75	STWK	PYF	SPY	CHL	<u>Fácies de Stockwork Pirítico.</u> Zona de intensa cloritização da rocha encaixante onde se enquadra uma rede de <i>stringers</i> maioritariamente piriticos, com algum quartzo e carbonatos associados. A Py apresenta variedade granulométrica desde muita fina até cristais eudricos milimétricos bem visíveis. A Cpy é muito incipiente e ocorre geralmente em <i>stringers</i> raros. Fracturação significativa. [598,80m] - Sx: 35°CA;	STWK	5,15	36 - 598,00 37 - 599,50 38 - 600,57	
ES13002	602,75	614,60	STWK	PYF	FLT		[Falha] - <u>Fácies de Stockwork Pirítico.</u> Zona de stockwork piritico semelhante ao da litologia anterior mas intensamente fracturado e cataclásado (argilizado).	STWK	11,85		
ES13002	614,60	634,62	STWK	PYF	SPY	CHL	<u>Fácies de Stockwork Pirítico.</u> Zona de intensa cloritização da rocha encaixante com distribuição de venulações e bandas de Py que aumentam gradualmente em profundidade. Cpy surge mais uma vez finamente disseminada mas predominantemente em <i>stringers</i> . Fracturação significativa. [615,65m] - Sx: 60°CA; <u>Contacto inferior:</u> Gradual	STWK	20,02	39 - 621,40 40 - 628,21 41 - 628,71 42 - 633,60 43 - 634,55	

**Tabela 11.12 – Re-logging da sondagem ES13002 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>a</sup> -metragem)	
ES13002	634,62	638,90	MSX	PYF	SCP		<u>Fácies Píritica</u> . Sulfuretos maciços com grande predomínio de Py (>50%) fina a mais grosseira (cristais eudrícos de dimensão milimétrica), bandada e laminada segundo Sx. A Cpy ocorre de forma incipiente, disseminada, e em <i>stringers</i> . A esferalite e a galena podem surgir intercaladas no interior de bandas piriticas evidenciando tonalidades cinzentas-azuladas mas em quantidades acessórias.	MSX	4,28	44 - 636,30 45 - 638,40	
ES13002	638,90	667,10	STWK	PYF	SPY	SCP	<u>Fácies de Stockwork Píritico</u> . Zona de intensa cloritização da rocha vulcânica. Tufo riolítico afanítico acinzentado e cloritizado. Variedade de <i>stringers</i> sulfuretados de espessura milimétrica a centimétrica constituídos maioritariamente por Py e rara Cpy (641,70m). Ocorrência de veios irregulares de quartzo e carbonatos com sulfuretos associados. (645,00 - 648,00m).	STWK	28,20	46 - 641,34 47 - 643,70 48 - 647,74 49 - 648,16 50 - 650,20 51 - 651,43 52 - 655,36 53 - 659,73 54 - 661,30 55 - 665,65	
ES13002	667,10	672,00	STWK	CUF	BPY	BCP	<u>Fácies de Stockwork Cuprífero</u> . Zona de tufo riolítico afanítico, cinzento, cloritizado. Rede de <i>stringers</i> e bandas milimétricas a centimétricas de sulfuretos de Py, com Cpy, aumenta gradualmente. Evidente variação do bandado composicional com zonas de Cpy (>>1,3%) claramente distintas de zonas mais ricas em Py. Granularidade fina a grosseira de pirite, por vezes associada a veios de quartzo. A quantidade de sulfuretos diminui progressivamente em profundidade. Verifica-se intensa fracturação e alguma argilização por esmagamento (669,50m - 677,60m), (685,30m - 687,10m) com diminuição gradual para a base do stockwork. [675,10m] - Sx: 36°^CA; [694,00m] - Sx: 40°^CA; <u>Contacto inferior</u> : Gradual	STWK CuF	4,90	56 - 668,15	
ES13002	672,00	700,10	STWK	PYF	CHL	SER	<u>Fácies de Stockwork Píritico</u> . Zona de mineralização do tipo stockwork mais incipiente. Tufo riolítico cloritizado a sericitizado de tonalidade negra a cinza-esverdeada. Fracturação intensa e ocorrência de veios milimétricos a centimétricos, ocasionais, de quartzo leitoso e carbonatos em menor quantidade. Ocorrência de bandas de sulfuretos de granularidade fina, Py e rara Cpy, por vezes associadas às zonas mais ricas em quartzo.	STWK	28,10	57 - 678,66 58 - 682,45 59 - 689,80 60 - 693,26 61 - 695,55	
ES13002	700,10	722,70	RHY	PYF	SER	CHL	Tufo riolítico afanítico cloritizado e sericitizado. Alternância de tipos de alteração com introdução gradual e crescente de bandas mais claras, esverdeadas, decimétricas, sericitizadas. Esta tendência é acompanhada pelo surgimento de níveis beje-acastanhados de carbonatos (alteração carbonatada?). Ocorrência de esporádicas disseminações de Py orientadas segundo Sx. Porção terminal com textura menos obliterada pelas diversas alterações.	Vulcânicas	22,60	62 - 700,12 63 - 702,28 64 - 704,60 65 - 710,65 66 - 713,49 67 - 717,25 68 - 719,88 69 - 721,16 70 - 722,07	
	<b>722,70</b>						<b>Fim de sondagem.</b>				

Sondagem ES12001

**Tabela 11.13 – Re-logging da sondagem ES12001**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>a</sup> -metragem)	
ES12001	0,00	9,30	ARG	WKE			Zona de alteração supergênica (meteorização). Predomínio de argilito negro muito alterado. com tonalidades beje a acastanhadas. Matriz argilosa na qual se observam clastos de quartzo pouco agregados. Troço [16,20 m - 18,20 m] com intensa fracturação e reduzida recuperação.	ARG	9,30		
ES12001	9,30	25,75	ARG	WKE			Argilito (xisto) cinzento com intercalações de grauvaques cinza de grão fino, progressivamente mais frequentes, com aumento da ritmicidade e alternância cada vez mais regular entre as duas litologias. Finos e raros veios, milimétricos a centimétricos de quartzo e carbonatos surgem como preenchimento de fracturas. Intensa fracturação na base da sequência litológica. [13,60m] - S0: 35°CA, S1: 20°CA; [18,30m] - S0: 30°CA; [23,40m] - S0: 40°CA, S1: 22°CA; [24,10m] - S0: 42°CA, S1: 24°CA.	ARG	16,45		
ES12001	25,75	32,00	WKE	ARG	QVN	CVN	Grauvaque cinzento de grão predominantemente fino, com intercalações milimétricas de xisto negro (alterado). Fracturação incipiente na base da sequência litológica onde se podem observar veios de quartzo e carbonato submilimétricos, concordantes ou subperpendiculares a Sx. Veio centimétrico de quartzo com alguma clorite visível no topo da sequência.	WKE	6,25		
ES12001	32,00	44,90	ARG	WKE	QVN		Argilito (xisto) cinzento a negro com intercalações frequentes, muito irregulares e interdigitadas de grauvaques cinzentos de grão fino. Testemunho com abundante distribuição de finos e penetrativos veios de quartzo e carbonatos. Veios de quartzo de maiores dimensões ( até 1 cm) com clorite. Espessuras decimétricas da sequência litológica apresentam forte fracturação e esmagamento. Possíveis carbonatos de Fe associados ao quartzo. <u>Contacto inferior</u> : Gradual	ARG	12,90		
ES12001	44,90	52,80	ARGN	WKE	QVN		Argilito (xisto) cinzento a negro com frequentes intercalações de grauvaques cinzentos de granularidade fina. Gradual aumento de veios submilimétricos a milimétricos de quartzo e carbonato do topo para a base da sequência, geralmente alinhados com a direcção da CA, ou seja, subverticais e por vezes muito irregulares. (45,60m) - possível zona de alteração constituída por quartzo e carbonato. [46,90m] - S0: 40°CA, S1: 15°CA; [51,40m] - S0: 50°CA. <u>Contacto inferior</u> : Gradual	ARG	7,90		

**Tabela 11.14 – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES12001	52,80	129,20	ARGN	WKE	FLT	QVN	[Falha]. Argilitos (xistos) negros grafitosos com intercalações de grauvaques cinzentos claros de granularidade fina. Forte esmagamento e argilização de toda a sequência litológica, predominantemente em zonas xistentas. Este aspecto é acompanhado, na parte final, por brechificação com evidência para elastos de quartzo, grauvaque e carbonato. <u>Contacto inferior:</u> Pouco discernível. Redução gradual na fracturação.	ARGN	76,40		
ES12001	129,20	139,00	ARGN	WKE	DPY		Argilito (xisto) negro grafitoso e piritoso, intercalado com bandas milimétricas a centimétricas de grauvaques cinzentos de granularidade predominantemente fina. A Py que se encontra associado aos xistos é fina e disseminada, surgindo de forma pontual. As camadas grauvacóides são regulares e lineares, ou podem ocorrer fortemente dobradas. Evidências de possíveis figuras sin-sedimentares como "slumps". Raros veios submilimétricos de quartzo e carbonatos (alguns de tonalidade castanho-avermelhado) apresentam orientação irregular. [134,90m] - S0: 40°CA; [137,00m] - S0: 30°CA; [138,70m] - S0: 70°CA; <u>Contacto inferior:</u> Gradual	ARGN	9,80		
ES12001	139,00	164,49	WKE	ARGN	CVN	QVN	Grauvaque cinzento de granularidade fina a média com intercalações de argilitos (xistos) negro com pirite euédrica disseminada. Alguma Py de grão fino (rara) encontra-se igualmente disseminada no grauvaque. Bandas de carbonatos e quartzo muito pervasivas podem apresentar-se com espessuras decimétricas. Abundantes veios milimétricos de quartzo e carbonato. [142,30m] - S0: 30°CA (irregular); [151,80m] - Sx: 35°CA; [163,50m] - Sx: 40°CA;	WKE	25,49		
ES12001	164,49	167,35	WKE	ARGN	FLT	CVN	[Falha] - Zona de falha em grauvaques. Grauvaque cinzento de granularidade fina a média com intercalações de xistos negros. Forte fracturação e esmagamento, com alguma argilização. Evidências de estiramento e brechificação em quartzo. <u>Contacto inferior:</u> Abrupto.	WKE	2,86		
ES12001	167,35	195,70	WKE	ARGN	CVN	QVN	Grauvaques cinzentos de granularidade fina a média, intercalados por xistos negros com tendência para diminuírem em profundidade. Abundantes veios milimétricos de quartzo + carbonatos predominantemente orientados segundo Sx. Ocorrência de zona rica em quartzo (188,80m) disposto de forma difusa e irregular. Evidências de tracção através de fendas bem visíveis (170,90m) preenchidas por quartzo. [178,55m] - S0: 50°CA, S1: 20°CA; [193,30m] - Sx: 24°CA; <u>Contacto inferior:</u> Gradual	WKE	28,35		



**Tabela 11.15 – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES12001	195,70	210,15	ARGN	WKE	CVN	QVN	Argilito (xisto) negro. Py surge muito fina a fina e disseminada. Intercalações milimétricas a centimétricas de grauvaques cinzentos de granularidade fina, evidenciando variações de So (de subvertical a subhorizontal). Veios de quartzo e carbonato tipicamente subparalelos a Sx, de espessura milimétrica. (207m)- Bandas de quartzo e carbonatos muito dispersas e pervasivas com clorite associada. [196,70m] - S0: 60°^CA, S1: 20°^CA; [198,20m] - S0: 5°^CA; [202,50m] - Sx: 22°^CA; [204,50m] - S0: 90°^CA (zona com grande variação de S0 - de 45 a 90° ).	ARG	14,45		
ES12001	210,15	248,80	WKE	ARGN	CVN		Grauvaque cinzento claro, de granularidade fina a grosseira, com raras intercalações de xisto negro. Estas intercalações podem ser lenticulas finas na matriz grauvaquóide ou bandas decimétricas geralmente obliteradas por veios de quartzo e carbonato que englobam alguma clorite (218,00m). Possível alteração clorítica dos xistos negros. Veios finos que "cortam" o grauvaque são geralmente bem definidos e regulares. (241m) - Ocorrência de litoclastos de xisto no seio da grauvaque (textura brechóide). [218,70m] - S0: 30°^CA; [224,60m] - Sx: 44°^CA; [228,85m] - S0: °^CA. <u>Contacto inferior:</u> Abrupto.	WKE	38,65		
ES12001	248,80	275,45	WKE	ARGN	QVN	CVN	Grauvaque cinzento de granularidade fina com intercalações milimétricas a decimétricas de xisto negro grafitoso. Ritmicidade de alternância entre as duas litologias. Veios submilimétricos a milimétricos de quartzo e carbonato podem ser frequentes (270m) e ocorrem paralelamente a Sx, ou por vezes dobrados e/ou estirados. Ocorrência de bandas decimétricas de quartzo em zonas mais xistentas constituídas por litoclastos de grauvaque. Py ocorre disseminada quer nos xistos, quer nos grauvaques. Testemunho muito fracturada e algo argilizado em diversos troços. <u>Contacto inferior:</u> Brusco entre xistos e grauvaques.		26,65		
ES12001	275,45	311,84	WKE	ARGN	CVN		Grauvaque cinzento, homogéneo, de granularidade média a grosseira, com raras intercalações de xisto negro que no entanto podem ser de espessura decimétrica (291m). Presença de veios milimétricos de quartzo, e carbonato em quantidades importantes. O carbonato pode estar igualmente presente na matriz dos grauvaques. inclusões de xisto negro nos grauvaques através de corpos lenticulares finos e arredondados, geralmente milimétricos a centimétricos (estes raros). Abertura de fracturas, com 2 direcções (aprox: 30°^CA e -30°^CA) preenchidas por quartzo e carbonato. Pirite fina a média pontualmente presente de forma disseminada ou bandada, alguma associada a veios de carbonato. [290,90m] - S0: 65°^CA; [291,55m] - Sx: 60°^CA;		36,39		

**Tabela 11.16 – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES12001	311,84	319,21	WKE	ARGN	FLT	CVN	[Falha] - Grauvaque cinzento de granularidade média com intercalações de xisto negro grafitoso. Intensa fracturação e argilização destas duas litologias. Brechificação com fracturação e rolamento de clastos de quartzo e carbonato no seio de uma matriz de granularidade mais fina resultante de esmagamento.	WKE	7,37		
ES12001	319,21	368,10	WKE	ARGN			Grauvaque cinzento de granularidade fina a grosseira com raras intercalações bandadas, geralmente centimétricas de xistos cinzentos a negros. Raros veios e/ou bandas irregulares de quartzo e carbonatos. Porção de testemunho (361,80m) com quartzo (20 cm). Ocorrem inclusões de xisto negro de dimensões variadas (até 4 cm), com orientações alongadas segundo a CA (subvertical), numa matriz tipicamente grauvacóide. É possível verificar a presença de clorite nas bandas mais possantes de quartzo e carbonato. Venulações mais finas e irregulares diminuem de frequência do topo para a base da sequência litológica. Rara Py disseminada no grauvaque. [330,37m] - S0: 45°^CA; [331,75m] - S0: 60°^CA; [350,33m] - S0: 55°^CA. <u>Contacto inferior:</u> Gradual	WKE	48,89		
ES12001	368,10	373,60	WKE	ARGN	FLT	QVN	[Falha] - Grauvaque de granularidade fina a média, cinzento, com intercalações muito irregulares de xisto negro. Porção francamente fracturada e argilizada, típica de caixa de falha. Forte penetratividade de veios de quartzo (e carbonato) na estrutura da rocha, com efeitos associados de cloritização (e silicificação?). Presença, possível, de carbonatos de Fe associados ao quartzo. Aparente alteração do grauvaque em contacto com fluidos ricos em quartzo (tonalidades mais claras). Pirite muito fina e disseminada em xistos negros piritosos e grafitosos. Brechificação pouco visível mas presente (371,90m). [330,37m] - S0: 65°^CA; <u>Contacto inferior:</u> Abrupto	WKE	5,50		
ES12001	373,60	385,60	WKE	ARG	QVN		Grauvaque cinzento de granularidade fina a média com raras inclusões e bandas irregulares de xisto negro. Testemunho muito fracturado e com alguma argilização. Veios finos, submilimétricos de carbonatos (raros) nos grauvaques. Presença de veio de quartzo e carbonato (~10 cm) com Py e <i>box-works</i> . A Py, rara, ocorre pontualmente disseminada e em finas bandas. Banda carbonatada com aparente frente de reacção com a rocha encaixante (382,40m). Fracturação do testemunho algo irregular. [383,20m] - S0: 45°^CA; [382,80m] - S0: 60°^CA, S1: 20°^CA. <u>Contacto inferior:</u> Abrupto	WKE	12,00		

**Tabela 11.17 – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES12001	385,60	398,14	ARGN	WKE	QVN		Argilitos (xistos) negros intercalados por bandas milimétricas a centimétricas de grauvaques finos cinzentos. Visível alguma grafite, e pirite (rara) milimétrica, bandada. Testemunho fracturado, com porções argilizadas e ligeiramente brechificadas. Ocorrem veios finos, submilimétricos de carbonatos e quartzo, bem como bandas decimétricas daqueles apresentando reacções de alteração (387m). Quartzo geralmente leitoso mas, por vezes, com tonalidades rosadas (?). Estes veios apresentam orientação variada (segundo Sx ou subverticais). [393,70m] - S0: 20°^CA, S1: 10°^CA; [397,33m] - S0: 45°^CA, S1: 25°^CA; <u>Contacto inferior:</u> Abrupto	ARGN	12,54		
ES12001	398,14	444,00	WKE	ARGN	CVN	DPY	Grauvaques finos a grosseiros, cinzentos claros, recortados por (raros) veios muito finos de quartzo e/ou carbonatos. Apresenta intercalações de xistos cinzentos escuros a negros, pontualmente grafitosos. Py muito fina a fina, disseminada mas rara quer nos grauvaques, quer nos xistos. Esta Py surge por vezes associada a veios de quartzo e carbonato. Em zonas xistentas ocorrem bandas carbonatadas de maior espessura (434,60m ; 439,70m). [409,20m] - S0: 60°^CA, S1: 70°^CA; [434,13m] - S0: 40°^CA; [434,47m] - S0: 50°^CA, S1: 35°^CA. <u>Contacto inferior:</u> Brusco com fracturação e argilização (444m).	WKE	45,86		
ES12001	444,00	479,10	ARGN	WKE			Argilitos (xistos) negros intercalados por grauvaques. Alternância ritmica de bandas/ camadas centimétricas a decimétricas das duas litologias nos primeiros 7 a 8 metros de testemunho. Tendência gradual para a diminuição de níveis grauvacóides em profundidade. Testemunho relativamente fracturado com argilização pontual em zonas de xisto negro. Ocorrência de veios milimétricos a centimétricos de quartzo e carbonato, subparalelos a Sx, e pontualmente portadores de clorite. Bandas ou níveis de elevada penetrabilidade de quartzo e carbonatos (453,25m). Fracturação intensa e argilização em cerca de 20 cm (456,10m) - Possível falha?. [449,35m] - Sx: 40°^CA; [468,10m] - Sx: 35°^CA; [478,30m] - S0=S1: 60°^CA;	ARGN	35,10		
ES12001	479,10	499,80	WKE	ARG			Grauvaque cinzento, fino a médio, com intercalações de xisto cinza escuro-negro, geralmente em bandas ou níveis centimétricos a decimétricos, exorádicos, com espaçamento de 1 ou 2 metros. O xisto pode também surgir sob forma de xenólitos lenticulares no seio dos grauvaques (486m). Raros veios de quartzo, submilimétricos a milimétricos, irregulares mas tendencialmente orientados segundo Sx, "percorrem" o grauvaque. Verifica-se maior penetrabilidade de venulações de quartzo e carbonato em zonas xistentas com orientações subperpendiculares à carote. (487,80m) - fendas de tracção preenchidas por quartzo. Rara Py fina (até 1 mm) encontra-se esporadicamente disseminada em ambas as litologias. [492,10m] - S0: 90°^CA, [494,44m] - S0: 78°^CA, [494,53m] - S0: 85°^CA.	WKE	20,70		

**Tabela 11.18 – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES12001	499,80	537,70	ARGN	WKE	CVN		Argilito (xisto) negro com frequentes intercalações milimétricas a decimétricas (até 70 cm) de grauvaques de granularidade fina a média. Alternância muito regular entre xistos negros e grauvaques. (513,00m - 515,30m) - testemunho fracturado e com argilização incipiente. Ocorrência de veios milimétricos a centimétricos de quartzo + carbonato, paralelos a Sx ou por vezes subverticais (503,50m), alguns deles dobrados ou boudinados. Forte penetrabilidade de carbonatos e quartzo em troços de xisto. Pirite (rara) fina a média e pontual, com cristais eúdricos (até 1 mm), disseminada. [505,24m] - S0: 90°^CA, [505,38m] - S0: 90°^CA, [506,20m] - S0: 40°^CA, [508,95m] - S0: 60°^CA, [522,70m] - S0: 30°^CA, [534,00m] - Sx: 20°^CA, [534,45m] - S0: 30°^CA, [535,15m] - S0: 55°^CA, S1: 25°^CA. <u>Contacto inferior:</u> Abrupto, a 35° com a CA.	ARGN	37,90		
ES12001	537,70	556,75	WKE	ARGN			Grauvaque cinzento de granularidade fina a média, com tonalidades mais amareladas na zona central da sequência (546,50m). Grauvaque apresenta intercalações milimétricas a centimétricas de xisto, que pode estar englobado na matriz grauvacóide através de pequenas lenticulas milimétricas orientadas segundo Sx. São visíveis raros veios milimétricos de quartzo + carbonato (551,50m) com orientação variável (subparalelos, subperpendiculares a Sx). forte fracturação e alguma argilização em zonas mais xistentas. [542,30m] - Sx: 35°^CA; [547,30m] - Sx: 60°^CA; [555,45m] - Sx: 40°^CA; <u>Contacto inferior:</u> Abrupto.	WKE	19,05		
ES12001	556,75	559,10	ARGN	FLT	DPY		[Falha] - Argilitos (xistos) negros, grafitoso e piritoso, intensamente argilizado e brechificado. Ocorrem clastos de quartzo leitoso fracturados e rolados. Diminuição gradual da intensidade de argilização, passando a uma forte fracturação. Pirite fina e disseminada de forma regular pela zona de falha.	ARGN	2,35		
ES12001	559,10	565,40	ARGN	VAT	QVN	BPY	Argilitos (xistos) negros piritoso, silicioso e com evidências de deformação, apresenta alguns níveis constituídos por tufitos(?) de tonalidades esbatidas de cinza-esverdeado. Níveis metricos de testemunho com veios até 1 cm de espessura de quartzo com algum carbonato. Evidências, nestes veios, de processos de deformação como estiramento ("boudins") e dobramento. A pirite ocorre em veios de quartzo+carbonato geralmete muito fina a fina, disseminada e por vezes bandada. Finos veios acastanhados, surgem associados a zonas tufíticas (563m). [560,10m] - Sx: 32°^CA; [561,50m] - Sx: 15°^CA; [563,60m] - S0: 40°^CA; <u>Contacto inferior:</u> Abrupto.	ARGN	6,30	1 - 563,75	

**Tabela 11.19 – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia		Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES12001	565,40	570,80	VAT	SER	QVN	CHT	Tufitos finos, cinzentos claros, com transição gradual para bege e enriquecidos em veios milimétricos a decimétricos de quartzo. Aspecto tendencialmente mais "lixiviado"(?) e esverdeado (sericitizado). Tufito com alguma silicificação (cherte?), e argilização em planos de fractura. Trata-se de um nível de tufitos sucessivamente mais alterado em profundidade à medida que aumenta a abundância e penetratividade dos veios de quartzo (e carbonato). [567,95m] - Sx: 50°CA; [567,70m] - Sx: 50°CA; [569,09m] - Sx: 30°CA; <u>Contacto inferior</u> : Abrupto com transição para tonalidades mais acinzentadas.	VAT	QVN CVN	5,40	2 - 566,60	
ES12001	570,80	586,80	VAT	ARGN	QVN		Tufitos finos, cinzentos a negros, com intercalações frequentes e irregulares, milimétricas a centimétricas de xisto negro (grafitoso). Alguma clorite ocorre associada a veios de quartzo de forma pontual. Estes veios, orientados muitas vezes segundo Sx, surgem de forma muito penetrativa e dispersa, obliterando por vezes a rocha encaixante. [581,20m] - Sx: 38°CA;	VAT		16,00	3 - 573,60	
ES12001	586,80	589,05	ARGN	FLT	QVN	CVN	[Falha] - Argilitos (xistos) negros, por vezes grafitosos, intercalados com veios métricos de quartzo e algum carbonato. Elevada fracturação e alguma brechificação. Argilização bem visível em zonas xistentas. <u>Contacto inferior</u> : Abrupto. Zona centimétrica de esmagamento.	ARGN	QVN CVN	2,25		
ES12001	589,05	591,90	VAT	ARGN	QVN		Tufito fino, cinzento, com intercalações milimétricas de xistos negros. Sobreposição intensa de veios milimétricos a decimétricos (raros) de quartzo, geralmente regulares, de forma muito penetrativa e com orientações variadas. Predomínio de veios subparalelos a Sx. [589,40m] - Sx: 40°CA; <u>Contacto inferior</u> : Abrupto.	VAT		2,85		
ES12001	591,90	604,90	VAT	ARG			Tufito cinzento claro a esverdeado, pontualmente mais escuro (negro), fino e homogêneo, apresentando níveis milimétricos de xistos negros intercalados e dispostos em bandas. [602,46m] - Sx: 30°CA; [596,72m] - Sx: 40°CA; <u>Contacto inferior</u> : Gradual com variação de tonalidades	VAT		13,00	4 - 594,30	
ES12001	604,90	612,05	VAT	QVN	CVN		Tufitos cinzentos-esverdeados a verdes, homogêneos, com bandas milimétricas a decimétricas de veios de quartzo (abundantes), bem definidos a irregulares, aos quais se associam venulações bege-acastanhadas de carbonatos (Fe?) que podem estender-se de forma regular, paralelamente a Sx na rocha menos alterada. [608,40m] - Sx: 20°CA; [611,20m] - Sx: 5°CA; <u>Contacto inferior</u> : Pouco visível (fracturação)			7,15	5 - 608,55	

**Tabela 11.20 – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia	Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES12001	612,05	702,25	VAT	ARGN	QVN	CVN	Essa sequência de tufitos cinzentos escuros, homogêneos, por vezes com alguma fração siltítica, intercalados frequentemente por finos níveis ou lenticulas de xisto negro, orientados subparalelamente a Sx. Porção de testemunho com quantidade razoável de veios de quartzo e carbonatos, e possível alteração (bandas acastanhadas) no contacto com o tufito. Fracturação e argilização incipiente no topo da litologia. <u>Contacto inferior</u> : Bem visível com variação de tonalidades.	VAT	90,20	6 - 630,90 7 - 665,00 8 - 670,45	
ES12001	702,25	708,90	VAT	ARGN			Tufitos cinzentos escuros a negro com abundante xisto negro. Intercalações bem visíveis em lenticulas e bandas orientadas segundo Sx. Raros veios milimétricos de quartzo e carbonatos [706,14m] - Sx: 40°CA;	VAT	6,65		
ES12001	708,90	736,75	VAT	ARGN	QVN	CVN	Tufitos cinzentos com intercalações mais claras (beje-verdes) marcados por zonas fortemente fracturadas e com argilização incipiente (falha?). Veios milimétricos a decimétricos (737,00m) de quartzo e carbonatos, a topo e na base da litologia, dispostos de forma irregular e orientados variavelmente. Intercalações de xistos negros. Fracturação com preenchimento de carbonatos/óxidos de Fe(?), geralmente subconcordantes com Sx. [725,84m] - Sx: 45°CA; [735,50m] - Sx: 35°CA; <u>Contacto inferior</u> : Gradual		27,85	9 - 736,60	
ES12001	736,75	747,10	fqRHY	SER	CAL	BPY	Tufo riolítico, porfirítico, com bandas milimétricas a centimétricas de abundantes cristais de feldspato e algum quartzo associado, geralmente apresentando uma estrutura orientada e subparalela a Sx, numa matriz com alteração sericitica/cloritica. Ocorre Py muito fina a fina, disseminada e bandada. Topo da litologia fortemente silicificado (cherte) com veios de quartzo e carbonatos (Fe?). possível alteração(?) carbonatada associada às bandas de feldspato mais grosseiras.[743,77m] - Sx: 30°CA; <u>Contacto inferior</u> : Gradual	Vulcânicas	10,35	10 - 741,00	
ES12001	747,10	769,85	fqRHY	SER	DPY		Tufo riolítico fino, esverdeado, com fenocristais de feldspato e algum quartzo, muito silicificado e sericitizado. Cristais de feldspato e quartzo são predominantemente alongados e orientados segundo Sx (menos alongados e mais euédricos que na litologia anterior). Venulações de carbonatos de Fe(?) (amarelo-acastanhado) uniformemente dispersos pelo testemunho (variação de orientação entre Sx e 90°). Py incipiente, muito fina e disseminada.[755,70m] - Sx: 30°CA; [758,40m] - Sx: 42°CA; <u>Contacto inferior</u> : Gradual	Vulcânicas	22,75	11 - 757,90	

**Tabela 11.21 – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia		Intervalo (m)	Amostragem (Ref <sup>o</sup> -metragem)	
ES12001	769,85	789,60	fqRHY	SER	DPY	BPY	Tufo riolítico porfíritico, cinzento-esverdeado, com cristais centimétricos (1-2 cm) de feldspato levemente alongados segundo Sx, no seio de uma matriz com cristais milimétricos de feldspato e quartzo de menor dimensão. Alteração sericitica. Ocorre rara Py, muito fina e disseminada e bandada. [776,00m] - Sx: 30°^CA; <u>Contacto inferior</u> : Gradual com diminuição da dimensão dos fenocristais.	Vulcânicas		19,75	12 - 778,10	
ES12001	789,60	821,35	fqRHY	SER	DPY		Tufo riolítico fino com fenocristais milimétricos de feldspato ligeiramente alongados e orientados segundo Sx. Matriz com alteração sericitica. Raros "clastos" de jaspe encontram-se na matriz (818,10m). Ocorrência de esporádicos veios milimétricos de quartzo e carbonato. A Py, rara, ocorre de forma muito fina e disseminada. [807,90m] - Sx: 35°^CA; Gradual com diminuição da granulometria.	Vulcânicas		31,75	13 - 808,45	
ES12001	821,35	826,41	fRHY	SER	BPY		Tufo riolítico fino, cinzento-esverdeado, com fenocristais de feldspato submilimétricos. Tufo com bandas de quartzo e silicificação intensa. Estas bandas de quartzo são geralmente irregulares. Verifica-se brechificação e fracturação em determinadas zonas. Sericite e clorite(?) na matriz. A Py apresenta granularidade fina a média com alguns cristais eudíricos até 2 mm em bandas de pequena extensão. [826,25m] - Sx: 20°^CA; <u>Contacto inferior</u> : Gradual	Vulcânicas		5,06	14 - 823,00	
ES12001	826,41	847,20	RUN	SER	DPY	BPY	Tufo riolítico(?) cinzento esverdeado, afanítico, laminado, com alteração sericitica e cloritica pronunciadas. A alteração sericitica é dominante sobre a cloritica. Bandado sericite-clorite. A Py, muito rara e fina, surge disseminada e bandada com aumento gradual em profundidade. Ocorrência de raros veios submilimétricos carbonatados. Esfalerite muito fina e rara. <u>Possível zona de falha</u> - (842,00m - 843,60m). [839,90m] - Sx: 15°^CA;	Vulcânicas		20,79	15 - 835,20 16 - 837,05 17 - 840,10 18 - 845,10	
ES12001	847,20	857,30	RUN	SER	DPY		Tufos riolíticos(?) afaníticos, cinzentos (levemente esverdeados) e laminados, com alteração sericitica e cloritica como na litologia anterior. Silicificação pontual. Py e esfalerite raras, de granularidade fina e disseminadas na matriz. Testemunho fracturado. [853,00m] - Sx: 30°^CA. <u>Contacto inferior</u> : Pouco perceptível, intensa fracturação.	Vulcânicas		10,10	19 - 852,85 20 - 853,40	
ES12001	857,30	864,50	MSX	ZNF	BPY	QVN	Fácies Pirítica. Zona de sulfuretos semi-maços intercalados com tufos riolíticos afaníticos predominantemente fracturados. Ocorrência de quartzo associado a Py (>50%) que por sua vez se apresenta fina a grosseira, geralmente disposta em estruturas bandadas. Cpy muito rara, ocorre de forma pontual, disseminada no seio da Py. Alguns sulfuretos mais finos e acinzentados indicam a presença de esfalerite . [864,00m] - Sx: 40°^CA. <u>Contacto inferior</u> : Imperceptível devido a intensa fracturação.	MSX	ZnF	7,20	21 - 858,20 22 - 858,65 23 - 860,40	



**Tabela 11.22 – Re-logging da sondagem ES12001 (cont.)**

Identificação (Sondagem)	De (m)	Até (m)	ROCK TYPE	MOD1	MOD2	MOD3	Descrição	Litoestratigrafia		Intervalo (m)	Amostragem (Ref°-metragem)	
ES12001	864,50	866,93	MSX	PYF	CVN		<u>Fácies Piritica</u> . Sulfuretos maciços e compostos essencialmente por Py (>50%) e Cpy muito rara e disseminada ou em finos <i>stringers</i> , muitas vezes associada a veios de quartzo e carbonatos que aumentam progressivamente em profundidade. <u>Contacto inferior</u> : Abrupto	MSX		2,43	24 - 865,10 25 - 866,40	
ES12001	866,93	869,20	RUN	SER	CHL	BPY	Tufo riolítico afanítico, cinzento-esverdeado e muito fracturado com evidências de alteração sericitica dominante. Visível também a presença de finas bandas milimétricas de clorite. Presença de raros veios de quartzo e carbonatos, de um modo geral, irregulares. A Py surgem com granularidade muito fina a fina em bandas esporádicas, milimétricas a centimétricas. [867,10m] - Sx: 35°CA; [868,55m] - Sx: 15°CA.	Vulcânicas		2,27	a)	
ES12001	869,20	870,90	MSX	PYF	BPY		<u>Fácies Piritica</u> . Sulfuretos maciços constituídos maioritariamente por Py (>50%) fina e bandada. Tufo riolítico remanescente evidenciando alteração cloritica. Dispersão de raros veios submilimétricos de quartzo e carbonatos. [870,50m] - Sx: 20°CA.	MSX		1,70	26 - 869,95	
ES12001	870,90	874,80	fRHY	FLT	BPY		[Falha]? - Tufos riolíticos cinzentos a esverdeados, constituídos por fenocristais milimétricos de feldspato, orientados e alongados subparalelamente a Sx. Predomínio de alteração cloritica sobre a sericitica. Fina e raras venulações de esfalerite (?) (castanhas-avermelhadas) no encosto do bandado piritico com o encaixante (871,44m). Intensa fracturação com redução de granulometria - <u>Possível Falha</u> . Veios milimétricos a centimétricos de quartzo, irregulares e difusos, na transição para a litologia inferior. A Py ocorre muito fina, associada ao quartzo.	Vulcânicas		3,90	a)	
ES12001	874,80	877,90	MSX	PYF	BPY		<u>Fácies Piritica</u> . Sulfuretos maciços de Py (>50%) com raras intercalações cloriticas dispostas em finos veios (milimétricos) (876,00m) associados a quartzo. A Py, fina a grosseira (até 3 mm) e bandada, ocorre por vezes em cristais eudrícos bem definidos. A esfalerite e/ou galena, surge em finos <i>stringers</i> de forma pontual.	MSX		3,10	27 - 876,00 28 - 876,33	
ES12001	877,90	890,50	fRHY	SIL	SER	QVN	Tufo riolítico cinzento-esverdeado, predominantemente sericitizados e silicificados, constituídos por abundantes cristais milimétricos de feldpato. Ocorrem veios milimétricos a centimétricos de quartzo e carbonatos com orientações variáveis. A Py ocorre disseminada e/ou bandada, geralmente fina. <u>Contacto inferior</u> : Gradual.	Vulcânicas	QV N CVN	12,60	29 - 878,30 30 - 878,95 31 - 881,30 32 - 884,50 33 - 885,10 34 - 886,50 35 - 890,28	
ES12001	890,50	898,20	RUN	SER	CHL		Tufos riolíticos, afaníticos, cinzento-esverdeados, predominantemente laminados e constituídos por finos veios de quartzo e carbonatos orientados segundo Sx. Alteração sericitica predominante, e cloritica.	Vulcânicas		7,70	36 - 891,54 37 - 894,73 38 - 897,80	
							<b>Fim da sondagem.</b>	a) sem amostragem (intensa fracturação)				

## **ANEXO II – Amostragem e metodologias**

**Tabela 11.23 – Métodos de estudo e análise adotados para cada amostra da sondagem ES13001**

Amostra	Metragem (m)	Petrografia	Química Mineral	Geoquímica de Rocha Total	MLA	Unidade
ES13001-1	567,78					Fm. Paraíso
ES13001-2	568,11					Fm. Paraíso
ES13001-3	594,70					Fm. Paraíso
ES13001-4	625,60					Fm. Paraíso
ES13001-5	645,00	x				Fm. Paraíso
ES13001-6	684,27					Fm. Paraíso
ES13001-7	687,10					Fm. Tufo da Mina
ES13001-8	691,83	x	x	x		Fm. Tufo da Mina
ES13001-9	711,80					Fm. Tufo da Mina
ES13001-10	725,60	x	x			Fm. Tufo da Mina
ES13001-11	736,10					Fm. Tufo da Mina
ES13001-12	739,90	x		x		Fm. Tufo da Mina
ES13001-13	740,95					Fm. Tufo da Mina
ES13001-14	744,18	x				Fm. Tufo da Mina
ES13001-15	753,70					Fm. Tufo da Mina
ES13001-16	761,60					Fm. Tufo da Mina
ES13001-17	772,75	x		x		Fm. Tufo da Mina
ES13001-18	783,30	x	x	x	x	Minério maciço (MSX - PYF)
ES13001-19	785,70	x	x			Minério fissural (STWK - PYF)
ES13001-20	793,27					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13001-21	796,60	x	x		x	Minério fissural (STWK - PYF)
ES13001-22	805,20	x	x	x		Minério fissural (STWK - PYF)
ES13001-23	814,50					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13001-24	823,10					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13001-25	826,90	x	x	x	x	Minério fissural (STWK - PYF)
ES13001-26	835,70					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13001-27	837,15					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13001-28	870,33	x	x		x	Minério fissural (STWK - CUF)
ES13001-29	873,55					Minério fissural (STWK - CUF)
ES13001-30	874,54	x	x			Minério fissural (STWK - CUF)
ES13001-31	875,50					Minério fissural (STWK - CUF)
ES13001-32	881,35					Minério fissural (STWK - CUF)
ES13001-33	881,70	x	x	x		Minério fissural (STWK - CUF)
ES13001-34	888,20					Fm. Tufo da Mina
ES13001-35	893,45	x				Fm. Tufo da Mina
ES13001-36	901,80					Fm. Tufo da Mina
ES13001-37	901,90	x	x	x		Minério fissural (STWK - PYF)
ES13001-38	902,50					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13001-39	903,80					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13001-40	912,90	x				Fm. Tufo da Mina
ES13001-41	924,20					Fm. Tufo da Mina
ES13001-42	941,73					Fm. Tufo da Mina
ES13001-43	943,50					Fm. Tufo da Mina
ES13001-44	950,82	x		x		Fm. Tufo da Mina
ES13001-45	953,95					Fm. Tufo da Mina

**Tabela 11.24 – Métodos de estudo e análise adotados para cada amostra da sondagem ES13002**

Amostra	Metragem (m)	Petrografia	Química Mineral	Geoquímica de Rocha Total	MLA	Unidade
ES13002-1	473,80					Fm. Paraíso
ES13002-2	483,90	x				Fm. Paraíso
ES13002-3	508,42	x				Fm. Paraíso
ES13002-4	522,25	x				Fm. Paraíso
ES13002-5	522,60					Fm. Paraíso
ES13002-6	524,76					Fm. Paraíso
ES13002-7	526,85	x				Fm. Paraíso
ES13002-8	528,50	x				Fm. Tufo da Mina
ES13002-9	533,90					Fm. Tufo da Mina
ES13002-10	535,05	x		x		Fm. Tufo da Mina
ES13002-11	536,20					Fm. Tufo da Mina
ES13002-12	537,28	x	x			Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-13	537,72					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-14	539,11					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-15	540,55	x	x			Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-16	542,00	x				Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-17	544,20					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-18	547,65					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-19	551,29	x		x	x	Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-20	554,50					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-21	558,10					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-22	559,43					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-23	562,85	x				Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-24	565,50					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-25	571,45					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-26	573,56					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-27	575,20					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-28	576,70					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-29	581,70	x		x		Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-30	586,36					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-31	588,29					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-32	593,28	x			x	Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-33	594,39	x		x		Minério maciço (MSX - ZNF)
ES13002-34	596,00	x		x		Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-35	579,15					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-36	598,00					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-37	599,50	x				Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-38	600,57	x		x		Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-39	621,40	x	x			Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-40	628,21					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-41	628,71	x	x			Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-42	633,60	x		x		Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-43	634,55					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-44	636,30					Minério maciço (MSX - PYF)
ES13002-45	638,40	x	x	x	x	Minério maciço (MSX - PYF)

**Tabela 11.25** – Métodos de estudo e análise adotados para cada amostra da sondagem ES13002 (cont.)

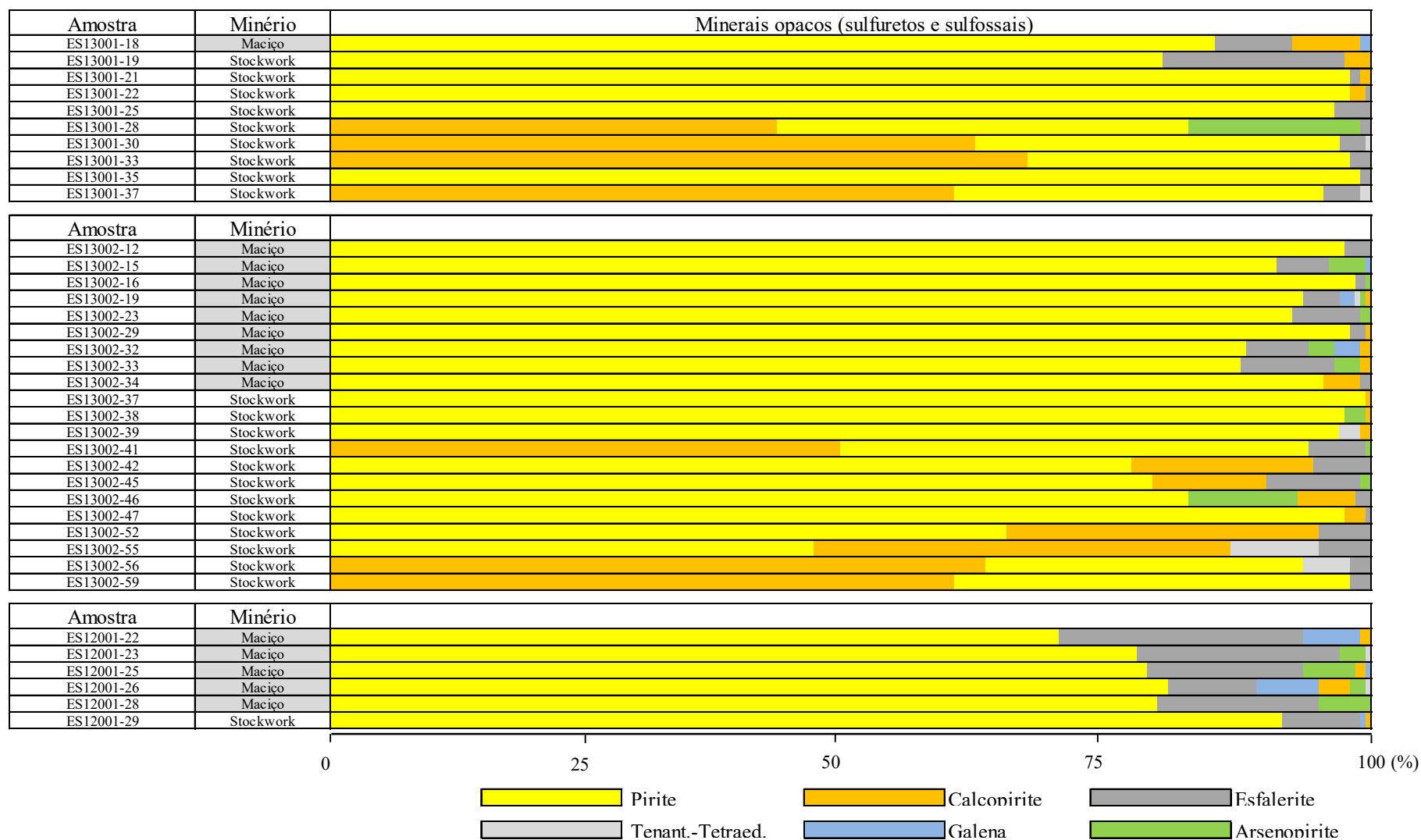
Amostra	Metragem (m)	Petrografia	Química Mineral	Geoquímica de Rocha Total	MLA	Unidade
ES13002-46	641,34	x	x	x		Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-47	643,70	x				Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-48	647,74					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-49	648,16					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-50	650,20					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-51	651,43					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-52	655,36	x	x	x		Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-53	659,73					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-54	661,30					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-55	665,65	x				Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-56	668,15	x	x	x	x	Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-57	678,66					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-58	682,45	x		x		Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-59	689,80	x	x			Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-60	693,26					Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-61	695,55	x				Minério fissural (STWK - PYF)
ES13002-62	700,12					Fm.Tufo da Mina
ES13002-63	702,28					Fm.Tufo da Mina
ES13002-64	704,60	x	x			Fm.Tufo da Mina
ES13002-65	710,65					Fm.Tufo da Mina
ES13002-66	713,49					Fm.Tufo da Mina
ES13002-67	717,25	x		x		Fm.Tufo da Mina
ES13002-68	719,88					Fm.Tufo da Mina
ES13002-69	721,16					Fm.Tufo da Mina
ES13002-70	722,07	x	x			Fm.Tufo da Mina

**Tabela 11.26** – Métodos de estudo e análise adotados para cada amostra da sondagem ES12001

Amostra	Metragem (m)	Petrografia	Química Mineral	Geoquímica de Rocha Total	MLA	Unidade
ES12001-1	563,75					Fm. Paraíso
ES12001-2	566,60					Fm. Paraíso
ES12001-3	573,60					Fm. Paraíso
ES12001-4	594,30					Fm. Paraíso
ES12001-5	608,55					Fm. Paraíso
ES12001-6	630,90					Fm. Paraíso
ES12001-7	665,00					Fm. Paraíso
ES12001-8	670,45	x				Fm. Paraíso
ES12001-9	736,60					Fm. Paraíso
ES12001-10	741,00					Fm.Tufo da Mina
ES12001-11	757,90					Fm.Tufo da Mina
ES12001-12	778,10	x	x			Fm.Tufo da Mina
ES12001-13	808,45	x		x		Fm.Tufo da Mina
ES12001-14	823,00					Fm.Tufo da Mina
ES12001-15	835,20					Fm.Tufo da Mina
ES12001-16	837,05	x				Fm.Tufo da Mina
ES12001-17	840,10	x		x		Fm.Tufo da Mina
ES12001-18	845,10					Fm.Tufo da Mina
ES12001-19	852,85	x				Fm.Tufo da Mina
ES12001-20	853,40					Fm.Tufo da Mina
ES12001-21	858,20					Minério maciço (MSX - ZNF)
ES12001-22	858,65	x				Minério maciço (MSX - ZNF)
ES12001-23	860,40	x		x	x	Minério maciço (MSX - ZNF)
ES12001-24	865,10					Minério maciço (MSX - PYF)
ES12001-25	866,40	x	x	x		Minério maciço (MSX - PYF)
ES12001-26	869,95	x	x	x	x	Minério maciço (MSX - PYF)
ES12001-27	876,00					Minério maciço (MSX - PYF)
ES12001-28	876,33	x		x		Minério maciço (MSX - PYF)
ES12001-29	878,30	x	x			Fm.Tufo da Mina
ES12001-30	878,95					Fm.Tufo da Mina
ES12001-31	881,30					Fm.Tufo da Mina
ES12001-32	884,50	x				Fm.Tufo da Mina
ES12001-33	885,10					Fm.Tufo da Mina
ES12001-34	886,50	x	x	x		Fm.Tufo da Mina
ES12001-35	890,28					Fm.Tufo da Mina
ES12001-36	891,54					Fm.Tufo da Mina
ES12001-37	894,73	x	x	x		Fm.Tufo da Mina
ES12001-38	897,80					Fm.Tufo da Mina

**ANEXO III – Petrografia – Representação gráfica, qualitativa, da proporção dos principais sulfuretos e sulfossais presentes nas amostras estudadas**





**Figura 11.1** – Diagrama de avaliação qualitativa das proporções relativas dos principais sulfuretos observados em cada lâmina polida.

## **ANEXO IV – Química Mineral**

IV.1 – Análises de Clorite

IV.2 – Análises de Sericite

IV.3 – Análises de Carbonato

IV.4 – Análises de Feldspato

## Anexo IV.1 – Análises de Clorite

**Tabela 11.27 – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respectivo perfil**

<b>Zona de alteração</b>	<b>Tipo 1 (Clorítica)</b>													
<b>Modo de ocorrência</b>	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz
<b>Perfil</b>	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
<b>Ref. da amostra</b>	131-22						131-25						131-28	
<b>N</b>	1	1	1	1	1	3	2	2	1	2	1	2	2	2
SiO <sub>2</sub>	27,01	26,82	26,58	26,95	26,48	26,51	27,48	27,73	27,59	27,50	27,88	28,21	27,48	26,13
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,03	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,01	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,94	23,97	23,21	23,25	24,11	24,02	24,04	24,34	24,09	24,16	23,91	24,47	24,13	23,19
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,09	0,07	0,05	0,07	0,03	0,04	0,04	0,06	0,04
FeO	19,12	19,46	19,50	19,35	19,51	19,77	11,62	11,23	11,88	11,60	11,76	11,49	11,78	26,99
MnO	0,22	0,24	0,24	0,19	0,23	0,19	0,28	0,25	0,29	0,25	0,24	0,27	0,30	0,32
MgO	19,66	18,10	19,35	18,60	17,98	17,94	23,81	23,61	23,78	24,12	24,60	24,33	24,26	11,00
CaO	0,01	0,05	0,02	0,08	0,14	0,06	0,05	0,01	0,05	0,06	0,07	0,02	0,06	0,05
Na <sub>2</sub> O	0,01	0,04	0,00	0,02	0,06	0,02	0,04	0,00	0,07	0,05	0,06	0,02	0,00	0,05
K <sub>2</sub> O	0,00	0,06	0,00	0,07	0,04	0,12	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,52
Total	89,02	88,81	88,94	88,57	88,64	88,71	87,39	87,22	87,82	87,80	88,55	88,88	88,09	88,31
Número de iões na base de 28 oxigénios														
Si	5,397	5,375	5,329	5,416	5,325	5,333	5,377	5,416	5,380	5,354	5,387	5,414	5,342	5,501
Al (IV)	2,603	2,625	2,671	2,584	2,675	2,667	2,623	2,584	2,620	2,646	2,613	2,586	2,658	2,499
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	2,799	3,037	2,815	2,924	3,038	3,028	2,922	3,019	2,916	2,900	2,832	2,949	2,871	3,256
Ti	0,000	0,005	0,001	0,003	0,005	0,002	0,002	0,000	0,000	0,006	0,000	0,003	0,001	0,001
Cr <sup>3+</sup>	0,006	0,010	0,006	0,006	0,010	0,014	0,011	0,007	0,011	0,005	0,006	0,006	0,010	0,007
Fe <sup>2+</sup>	3,195	3,261	3,271	3,252	3,280	3,326	1,901	1,834	1,936	1,889	1,900	1,844	1,915	4,752
Mn	0,038	0,040	0,041	0,033	0,039	0,032	0,046	0,041	0,048	0,041	0,039	0,044	0,050	0,057
Mg	5,857	5,406	5,786	5,574	5,390	5,379	6,945	6,875	6,913	7,001	7,085	6,960	7,028	3,453
Ca	0,002	0,010	0,004	0,017	0,030	0,013	0,010	0,002	0,009	0,013	0,015	0,005	0,012	0,010
Na	0,003	0,015	0,000	0,009	0,022	0,007	0,015	0,001	0,025	0,019	0,022	0,006	0,000	0,021
K	0,000	0,016	0,000	0,019	0,009	0,030	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,140
Fe/(Fe+Mg)	0,353	0,376	0,361	0,368	0,378	0,382	0,215	0,211	0,219	0,212	0,211	0,209	0,214	0,579
Al/(Al+Fe+Mg)	0,223	0,232	0,228	0,226	0,236	0,235	0,229	0,229	0,228	0,229	0,225	0,227	0,229	0,233

**Tabela 11.28** – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respetivo perfil (cont.)

Zona de alteração	Tipo 1 (Clorítica)													
Modo de ocorrência	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz
Perfil	NW	NW	NW	NW	NW	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central
Ref. da amostra	131-37					132-39						132-59		
N	1	2	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1	2	2
SiO <sub>2</sub>	19,39	25,59	25,56	25,87	25,36	25,95	25,92	25,97	26,83	27,11	26,43	24,94	26,12	26,38
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,03	0,02	0,02	0,00	0,03	0,00	0,02	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,18	22,85	22,80	22,55	22,00	23,80	23,18	22,89	23,05	22,08	22,86	22,57	23,77	23,57
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,06	0,07	0,04	0,02	0,05	0,06	0,07	0,05	0,05	0,07	0,05	0,04	0,08
FeO	23,22	22,21	22,23	22,37	21,74	19,11	20,04	20,85	19,97	20,11	19,78	20,42	18,96	18,50
MnO	0,33	0,31	0,38	0,25	0,15	0,29	0,29	0,28	0,26	0,27	0,30	0,13	0,37	0,40
MgO	16,93	17,02	16,79	16,63	16,54	19,43	18,76	17,96	18,09	18,93	19,44	16,97	19,03	19,24
CaO	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,06	0,03	0,03	0,01	0,05	0,01	0,03
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,02	0,05	0,00	0,01
K <sub>2</sub> O	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01
Total	83,22	88,07	87,86	87,79	85,84	88,66	88,30	88,14	88,53	88,59	88,94	85,19	88,32	88,23
Número de iões na base de 28 oxigénios														
Si	4,347	5,274	5,282	5,346	5,353	5,217	5,262	5,305	5,422	5,476	5,316	5,273	5,266	5,310
Al (IV)	3,653	2,726	2,718	2,654	2,647	2,783	2,738	2,695	2,578	2,524	2,684	2,727	2,734	2,690
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	2,472	2,822	2,836	2,840	2,827	2,857	2,808	2,817	2,911	2,733	2,735	2,897	2,915	2,903
Ti	0,008	0,000	0,001	0,007	0,000	0,002	0,004	0,003	0,003	0,000	0,005	0,000	0,003	0,003
Cr <sup>3+</sup>	0,009	0,010	0,011	0,006	0,003	0,008	0,009	0,012	0,007	0,008	0,012	0,009	0,006	0,012
Fe <sup>2+</sup>	4,353	3,828	3,841	3,866	3,839	3,213	3,403	3,561	3,376	3,396	3,327	3,610	3,197	3,114
Mn	0,063	0,054	0,067	0,043	0,027	0,049	0,050	0,049	0,045	0,046	0,051	0,022	0,063	0,068
Mg	5,656	5,229	5,172	5,125	5,206	5,822	5,676	5,469	5,448	5,700	5,828	5,347	5,718	5,774
Ca	0,006	0,004	0,005	0,006	0,004	0,004	0,004	0,013	0,007	0,007	0,002	0,012	0,001	0,007
Na	0,017	0,000	0,000	0,008	0,003	0,006	0,009	0,007	0,004	0,000	0,007	0,020	0,001	0,002
K	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,055	0,000	0,000	0,008	0,000	0,002
Fe/(Fe+Mg)	0,435	0,423	0,426	0,430	0,424	0,356	0,375	0,394	0,383	0,373	0,363	0,403	0,359	0,350
Al/(Al+Fe+Mg)	0,267	0,231	0,232	0,228	0,226	0,235	0,232	0,230	0,226	0,217	0,227	0,233	0,235	0,232

**Tabela 11.29 – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respetivo perfil (cont.)**

<b>Zona de alteração</b>	<b>Tipo 1 (Clorítica)</b>													
<b>Modo de ocorrência</b>	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Matriz	Veio	Veio	Veio
<b>Perfil</b>	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	NW	NW	NW
<b>Ref. da amostra</b>	121-29											131-18		
<b>N</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
SiO <sub>2</sub>	26,63	26,91	27,53	26,77	26,96	27,49	27,71	27,17	27,52	26,96	27,01	23,47	23,99	23,79
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,70	23,50	23,11	23,05	22,54	22,64	23,83	23,15	23,05	23,38	23,18	23,57	23,12	23,32
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,05	0,03	0,06	0,08	0,06	0,10	0,08	0,03	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
FeO	17,42	16,81	14,52	15,89	14,32	15,00	15,87	16,01	14,38	14,87	16,28	32,21	32,73	32,57
MnO	0,34	0,30	0,25	0,30	0,22	0,23	0,26	0,27	0,23	0,26	0,31	0,37	0,38	0,33
MgO	20,47	20,83	23,00	21,77	22,94	22,17	20,12	21,42	23,01	22,42	21,25	9,14	9,23	9,52
CaO	0,01	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,02	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,05	0,02	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
K <sub>2</sub> O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,45	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Total	88,63	88,48	88,49	87,90	87,10	87,62	88,42	88,13	88,26	87,99	88,13	88,93	89,56	89,64
Número de iões na base de 28 oxigénios														
Si	5,302	5,349	5,405	5,338	5,382	5,463	5,482	5,397	5,412	5,337	5,377	5,068	5,149	5,099
Al (IV)	2,698	2,651	2,595	2,662	2,618	2,537	2,518	2,603	2,588	2,663	2,623	2,932	2,851	2,901
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	2,864	2,854	2,750	2,755	2,684	2,766	3,037	2,818	2,755	2,792	2,815	3,066	2,999	2,989
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,001	0,000	0,000	0,000	0,006	0,002	0,003
Cr <sup>3+</sup>	0,011	0,007	0,005	0,009	0,012	0,010	0,015	0,012	0,004	0,011	0,011	0,011	0,012	0,011
Fe <sup>2+</sup>	2,901	2,794	2,383	2,650	2,391	2,494	2,626	2,660	2,364	2,462	2,709	5,816	5,875	5,838
Mn	0,057	0,050	0,042	0,051	0,037	0,039	0,044	0,045	0,039	0,044	0,053	0,068	0,069	0,060
Mg	6,077	6,172	6,730	6,472	6,827	6,567	5,934	6,343	6,744	6,616	6,305	2,940	2,952	3,041
Ca	0,001	0,007	0,007	0,006	0,008	0,004	0,008	0,004	0,004	0,004	0,005	0,014	0,005	0,003
Na	0,000	0,017	0,006	0,010	0,003	0,000	0,003	0,003	0,010	0,002	0,000	0,000	0,004	0,005
K	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,004	0,114	0,000	0,000	0,003	0,002	0,001	0,001	0,000
Fe/(Fe+Mg)	0,323	0,312	0,262	0,291	0,259	0,275	0,307	0,295	0,260	0,271	0,301	0,664	0,666	0,657
Al/(Al+Fe+Mg)	0,231	0,228	0,222	0,226	0,221	0,219	0,227	0,224	0,221	0,227	0,225	0,251	0,244	0,246

**Tabela 11.30** – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respectivo perfil (cont.)

<b>Zona de alteração</b>	<b>Tipo 1 (Clorítica)</b>													
<b>Modo de ocorrência</b>	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio
<b>Perfil</b>	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
<b>Ref. da amostra</b>	131-18	131-19									131-21			
<b>N</b>	1	2	2	3	4	2	4	1	2	2	1	2	3	2
SiO <sub>2</sub>	22,82	25,27	24,93	24,63	25,01	24,58	24,89	23,45	24,72	25,38	24,66	24,34	24,39	24,42
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,27	23,85	23,75	23,65	23,26	23,71	23,72	22,30	23,54	22,74	23,52	24,46	24,39	24,41
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,07	0,07	0,09	0,06	0,08	0,06	0,07	0,07	0,05	0,07	0,07	0,07	0,06
FeO	34,45	24,98	25,54	26,01	25,77	27,15	26,27	23,37	27,24	24,97	26,08	27,98	26,81	26,74
MnO	0,42	0,11	0,12	0,15	0,13	0,12	0,11	0,08	0,10	0,16	0,12	0,16	0,19	0,19
MgO	7,35	14,61	14,08	13,75	13,97	13,05	13,70	12,73	12,69	15,18	13,21	11,95	12,87	12,98
CaO	0,05	0,11	0,20	0,03	0,07	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
K <sub>2</sub> O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
Total	89,42	89,03	88,70	88,34	88,30	88,73	88,79	82,02	88,40	88,51	87,71	89,00	88,79	88,83
Número de iões na base de 28 oxigénios														
Si	4,961	5,214	5,185	5,162	5,234	5,157	5,189	5,251	5,206	5,275	5,206	5,108	5,104	5,104
Al (IV)	3,039	2,786	2,815	2,838	2,766	2,843	2,811	2,749	2,794	2,725	2,794	2,892	2,896	2,896
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	3,179	3,014	3,008	3,003	2,971	3,018	3,017	3,137	3,048	2,848	3,059	3,159	3,119	3,116
Ti	0,000	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000
Cr <sup>3+</sup>	0,009	0,012	0,011	0,015	0,010	0,013	0,010	0,013	0,012	0,008	0,011	0,012	0,012	0,009
Fe <sup>2+</sup>	6,263	4,310	4,442	4,557	4,509	4,763	4,579	4,378	4,796	4,341	4,603	4,911	4,691	4,674
Mn	0,077	0,020	0,020	0,026	0,024	0,021	0,019	0,015	0,017	0,028	0,022	0,028	0,034	0,033
Mg	2,381	4,494	4,365	4,293	4,358	4,082	4,257	4,250	3,984	4,704	4,156	3,739	4,013	4,045
Ca	0,011	0,025	0,044	0,008	0,016	0,006	0,007	0,006	0,005	0,003	0,006	0,005	0,007	0,005
Na	0,011	0,001	0,005	0,007	0,008	0,006	0,003	0,000	0,002	0,005	0,004	0,006	0,004	0,005
K	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000	0,006	0,001
Fe/(Fe+Mg)	0,725	0,490	0,504	0,515	0,509	0,538	0,518	0,507	0,546	0,480	0,526	0,568	0,539	0,536
Al/(Al+Fe+Mg)	0,260	0,240	0,242	0,243	0,238	0,243	0,241	0,242	0,241	0,232	0,242	0,251	0,250	0,249



**Tabela 11.31** – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respetivo perfil (cont.)

Zona de alteração	Tipo 1 (Clorítica)													
Modo de ocorrência	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio
Perfil	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
Ref. <sup>a</sup> da amostra	131-21					131-22	131-28				131-30			
N	1	1	1	2	1	2	2	1	3	4	3	1	2	1
SiO <sub>2</sub>	24,23	24,20	25,01	24,33	23,66	24,61	24,59	24,67	24,37	24,33	24,09	24,04	24,36	24,75
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,33	24,30	23,29	24,29	24,79	23,02	23,00	22,88	23,05	22,90	23,20	23,23	23,02	22,05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,08	0,07	0,03	0,02	0,09	0,06	0,06	0,05	0,07	0,05	0,09	0,06	0,04
FeO	27,13	28,80	25,66	27,07	29,23	28,99	28,88	29,20	28,88	30,60	29,61	30,11	29,72	30,47
MnO	0,22	0,16	0,22	0,22	0,14	0,35	0,35	0,35	0,35	0,54	0,51	0,50	0,55	0,51
MgO	12,82	11,55	14,14	12,77	10,77	12,16	11,94	11,41	12,01	10,82	11,34	11,00	11,37	10,70
CaO	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,05	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,05
Na <sub>2</sub> O	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,05	0,01	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	88,84	89,12	88,44	88,75	88,62	89,29	88,95	88,63	88,79	89,32	88,83	88,99	89,10	88,59
Número de iões na base de 28 oxigénios														
Si	5,078	5,096	5,224	5,100	5,026	5,190	5,206	5,247	5,169	5,182	5,133	5,128	5,176	5,311
Al (IV)	2,922	2,904	2,776	2,900	2,974	2,810	2,794	2,753	2,831	2,818	2,867	2,872	2,824	2,689
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	3,088	3,128	2,957	3,103	3,233	2,912	2,945	2,982	2,934	2,930	2,960	2,966	2,941	2,888
Ti	0,001	0,004	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,003	0,001	0,002	0,000	0,004
Cr <sup>3+</sup>	0,012	0,013	0,011	0,006	0,004	0,016	0,009	0,010	0,009	0,012	0,008	0,015	0,010	0,007
Fe <sup>2+</sup>	4,755	5,073	4,481	4,747	5,192	5,113	5,112	5,194	5,125	5,450	5,278	5,371	5,281	5,468
Mn	0,040	0,028	0,039	0,038	0,024	0,063	0,062	0,063	0,063	0,098	0,092	0,089	0,100	0,093
Mg	4,007	3,628	4,402	3,990	3,410	3,822	3,766	3,618	3,797	3,436	3,602	3,495	3,600	3,422
Ca	0,004	0,005	0,007	0,006	0,005	0,006	0,010	0,010	0,004	0,006	0,004	0,004	0,006	0,011
Na	0,004	0,000	0,013	0,001	0,001	0,006	0,022	0,006	0,015	0,002	0,002	0,000	0,000	0,002
K	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002	0,009	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Fe/(Fe+Mg)	0,543	0,583	0,504	0,543	0,604	0,572	0,576	0,589	0,574	0,613	0,594	0,606	0,595	0,615
Al/(Al+Fe+Mg)	0,250	0,250	0,238	0,249	0,257	0,239	0,239	0,238	0,241	0,241	0,244	0,245	0,241	0,232

**Tabela 11.32 – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respetivo perfil (cont.)**

<b>Zona de alteração</b>	<b>Tipo 1 (Clorítica)</b>													
<b>Modo de ocorrência</b>	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio
<b>Perfil</b>	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	Central	Central	Central	Central	Central	Central
<b>Ref. da amostra</b>	131-30	131-33							132-41			132-46		
<b>N</b>	1	2	1	3	3	3	3	1	1	2	1	2	1	1
SiO <sub>2</sub>	24,84	25,11	25,63	24,98	24,95	25,02	24,13	24,23	25,33	25,56	25,69	25,00	26,09	24,97
TiO <sub>2</sub>	0,03	0,01	0,04	0,00	0,01	0,01	0,01	0,04	0,03	0,04	0,03	0,01	0,01	0,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,50	22,75	22,41	22,87	22,79	22,74	23,06	22,89	18,95	19,50	19,52	18,54	17,95	19,19
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,06	0,07	0,06	0,01	0,07	0,06	0,09	0,06	0,05	0,08	0,04	0,06	0,04
FeO	30,29	27,70	26,38	27,87	26,98	27,57	27,79	27,32	31,67	31,45	30,65	36,06	34,18	36,78
MnO	0,51	0,28	0,30	0,32	0,32	0,30	0,32	0,30	0,16	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17
MgO	11,15	13,39	14,61	13,17	13,46	13,11	13,18	13,72	10,73	12,02	13,00	8,94	10,88	8,31
CaO	0,01	0,01	0,02	0,05	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04	0,06	0,01	0,03	0,04	0,04
Na <sub>2</sub> O	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,02
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	89,42	89,33	89,49	89,33	88,54	88,87	88,61	88,65	86,97	88,91	89,19	88,84	89,38	89,54
Número de iões na base de 28 oxigénios														
Si	5,269	5,250	5,309	5,231	5,246	5,258	5,105	5,113	5,588	5,498	5,482	5,531	5,662	5,492
Al (IV)	2,731	2,750	2,691	2,769	2,754	2,742	2,895	2,887	2,412	2,502	2,518	2,469	2,338	2,508
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	2,894	2,856	2,781	2,875	2,896	2,890	2,856	2,806	2,515	2,440	2,390	2,367	2,255	2,466
Ti	0,005	0,002	0,006	0,000	0,002	0,001	0,002	0,007	0,005	0,006	0,005	0,001	0,001	0,004
Cr <sup>3+</sup>	0,014	0,010	0,011	0,010	0,002	0,012	0,010	0,014	0,010	0,009	0,014	0,007	0,010	0,007
Fe <sup>2+</sup>	5,373	4,844	4,571	4,880	4,745	4,845	4,918	4,820	5,842	5,656	5,469	6,673	6,206	6,766
Mn	0,091	0,050	0,052	0,056	0,056	0,053	0,057	0,054	0,030	0,040	0,038	0,037	0,032	0,031
Mg	3,525	4,172	4,512	4,109	4,220	4,107	4,158	4,316	3,527	3,854	4,136	2,948	3,521	2,725
Ca	0,003	0,003	0,005	0,010	0,005	0,009	0,007	0,008	0,009	0,013	0,002	0,006	0,009	0,009
Na	0,004	0,003	0,009	0,003	0,001	0,004	0,004	0,004	0,000	0,004	0,000	0,017	0,000	0,007
K	0,000	0,000	0,003	0,001	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
Fe/(Fe+Mg)	0,604	0,537	0,503	0,543	0,529	0,541	0,542	0,528	0,624	0,595	0,569	0,694	0,638	0,713
Al/(Al+Fe+Mg)	0,235	0,234	0,229	0,236	0,235	0,234	0,242	0,240	0,205	0,208	0,208	0,204	0,194	0,209

**Tabela 11.33** – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respectivo perfil (cont.)

Zona de alteração	Tipo 1 (Clorítica)													
Modo de ocorrência	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio
Perfil	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	SE	SE
Ref. da amostra	132-46	132-52											121-25	
N	2	2	2	1	2	1	1	3	1	1	1	2	1	2
SiO <sub>2</sub>	24,86	26,34	26,08	26,22	26,10	26,15	26,23	26,17	26,20	26,42	25,84	26,13	24,04	23,72
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,03	0,04	0,06	0,04	0,03	0,01	0,04	0,03	0,06	0,06	0,04	0,03	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,95	18,65	18,59	18,74	18,72	18,84	18,50	18,83	18,30	18,80	18,72	18,82	18,07	18,79
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,05	0,08	0,08	0,07	0,10	0,07	0,06	0,06	0,04	0,07	0,07	0,03	0,08
FeO	36,42	30,94	30,66	30,11	31,11	29,76	30,64	30,36	30,70	29,69	30,16	30,77	42,52	41,98
MnO	0,19	0,12	0,15	0,12	0,12	0,14	0,11	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12	0,15	0,19
MgO	8,38	12,72	12,97	13,22	12,70	13,78	13,35	13,56	13,19	13,90	13,49	12,65	4,48	4,82
CaO	0,08	0,06	0,04	0,04	0,06	0,03	0,03	0,01	0,05	0,03	0,05	0,10	0,02	0,04
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,00	0,01	0,03	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	88,99	88,91	88,62	88,60	88,93	88,86	88,94	89,21	88,66	89,08	88,50	88,70	89,38	89,63
Número de iões na base de 28 oxigénios														
Si	5,501	5,640	5,604	5,612	5,598	5,574	5,610	5,571	5,627	5,608	5,548	5,607	5,494	5,387
Al(IV)	2,499	2,360	2,396	2,388	2,402	2,426	2,390	2,429	2,373	2,392	2,452	2,393	2,506	2,613
Sum(IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al(VI)	2,443	2,348	2,310	2,340	2,329	2,307	2,274	2,297	2,260	2,310	2,283	2,367	2,361	2,418
Ti	0,002	0,005	0,007	0,009	0,006	0,005	0,002	0,006	0,005	0,010	0,010	0,006	0,004	0,004
Cr <sup>3+</sup>	0,012	0,009	0,014	0,013	0,012	0,017	0,011	0,011	0,011	0,007	0,011	0,013	0,006	0,014
Fe <sup>2+</sup>	6,740	5,540	5,508	5,390	5,580	5,304	5,480	5,405	5,514	5,270	5,415	5,523	8,126	7,974
Mn	0,035	0,022	0,026	0,021	0,021	0,026	0,019	0,027	0,021	0,022	0,021	0,022	0,030	0,036
Mg	2,763	4,060	4,152	4,219	4,059	4,377	4,256	4,303	4,221	4,399	4,316	4,048	1,525	1,631
Ca	0,018	0,013	0,010	0,008	0,013	0,007	0,007	0,003	0,010	0,006	0,012	0,023	0,006	0,009
Na	0,011	0,000	0,002	0,013	0,010	0,007	0,000	0,004	0,007	0,003	0,000	0,000	0,015	0,000
K	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Fe/(Fe+Mg)	0,709	0,577	0,570	0,561	0,579	0,548	0,563	0,557	0,566	0,545	0,556	0,577	0,842	0,830
Al/(Al+Fe+Mg)	0,208	0,197	0,199	0,199	0,199	0,200	0,197	0,200	0,196	0,198	0,201	0,200	0,206	0,214

**Tabela 11.34** – Análises de clorites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal, o modo de ocorrência e o respetivo perfil (cont.)

Zona de alteração	Tipo 2 (Sericítica)			Tipo 3 (Paragonítica)							
Modo de ocorrência	Matriz	Matriz	Matriz	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio	Veio
Perfil	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central
Refª. da amostra	132-70			132-12							
N	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
SiO <sub>2</sub>	27,77	27,80	27,62	27,60	25,50	28,93	25,66	25,41	25,10	24,99	25,86
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,03	0,03	0,05	0,02	0,04	0,01	0,00	0,04	0,01	0,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,87	21,66	22,14	23,10	22,21	23,79	22,35	21,49	21,99	21,39	21,49
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09	0,04	0,03	0,04	0,05	0,16	0,29	0,12	0,07	0,04	0,16
FeO	13,18	12,95	12,70	24,26	27,18	22,95	24,39	27,21	28,12	28,86	25,86
MnO	0,57	0,56	0,52	0,52	0,52	0,36	0,62	0,38	0,33	0,34	0,39
MgO	24,22	24,48	24,26	12,82	13,00	10,99	14,99	13,66	12,91	12,29	14,00
CaO	0,02	0,04	0,00	0,06	0,07	0,06	0,01	0,02	0,03	0,03	0,07
Na <sub>2</sub> O	0,01	0,02	0,00	0,27	0,12	0,13	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,58	0,03	1,12	0,02	0,00	0,00	0,00	0,11
Total	87,74	87,57	87,30	89,30	88,69	88,53	88,35	88,29	88,58	87,95	88,00
Número de iões na base de 28 oxigénios											
Si	5,477	5,488	5,457	5,653	5,364	5,914	5,342	5,372	5,312	5,356	5,445
Al (IV)	2,523	2,512	2,543	2,347	2,636	2,086	2,658	2,628	2,688	2,644	2,555
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	2,560	2,527	2,615	3,230	2,870	3,647	2,827	2,729	2,798	2,759	2,780
Ti	0,003	0,004	0,004	0,008	0,003	0,007	0,002	0,000	0,006	0,002	0,009
Cr <sup>3+</sup>	0,014	0,006	0,004	0,007	0,008	0,027	0,047	0,021	0,012	0,007	0,027
Fe <sup>2+</sup>	2,173	2,138	2,099	4,155	4,781	3,923	4,247	4,811	4,977	5,172	4,554
Mn	0,095	0,094	0,087	0,090	0,093	0,061	0,109	0,068	0,059	0,062	0,069
Mg	7,122	7,204	7,147	3,913	4,075	3,350	4,653	4,306	4,074	3,926	4,395
Ca	0,004	0,008	0,001	0,014	0,017	0,014	0,002	0,005	0,006	0,007	0,016
Na	0,003	0,009	0,000	0,107	0,047	0,052	0,002	0,000	0,004	0,000	0,001
K	0,000	0,000	0,000	0,152	0,009	0,291	0,006	0,000	0,000	0,000	0,030
Fe/(Fe+Mg)	0,234	0,229	0,227	0,515	0,540	0,539	0,477	0,528	0,550	0,568	0,509
Al/(Al+Fe+Mg)	0,213	0,212	0,216	0,225	0,229	0,223	0,230	0,224	0,229	0,225	0,222

## Anexo IV.2 – Análises de Sericite

**Tabela 11.35** – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil

Zona de alteração	Tipo 1 (Clorítica)												
Perfil	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
Ref <sup>o</sup> da amostra	131-21												
N	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2
SiO <sub>2</sub>	49,07	47,83	48,18	48,67	48,31	48,71	48,35	49,59	49,91	48,77	48,88	48,63	48,87
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,00	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,02	0,06	0,02	0,05	0,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,08	35,25	34,10	36,97	36,25	36,92	36,49	35,10	35,87	36,77	35,89	36,61	37,05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,07	0,05	0,03	0,06	0,09	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,02
FeO	0,44	0,37	2,27	0,31	0,33	0,33	0,57	0,31	0,28	0,37	0,40	0,49	0,26
MnO	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,00	0,01	0,03	0,00
MgO	0,39	0,51	0,37	0,46	0,33	0,44	0,50	0,36	0,33	0,45	0,72	0,54	0,36
CaO	0,10	0,14	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,03	0,04	0,05	0,06	0,15	0,07
Na <sub>2</sub> O	0,93	1,16	1,45	1,36	1,00	1,04	1,25	0,68	0,84	0,93	1,91	1,98	1,28
K <sub>2</sub> O	7,21	7,79	7,32	6,89	8,08	7,65	7,74	7,85	8,03	7,48	7,37	6,71	7,34
Total	94,39	93,11	93,84	94,79	94,47	95,29	95,07	94,04	95,40	94,93	95,31	95,26	95,27
Número de iões na base de 22 oxigénios													
Si	6,399	6,363	6,410	6,316	6,333	6,313	6,302	6,499	6,456	6,333	6,351	6,303	6,322
Al (IV)	1,601	1,637	1,590	1,684	1,667	1,687	1,698	1,501	1,544	1,667	1,649	1,697	1,678
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	3,945	3,890	3,759	3,970	3,936	3,952	3,908	3,921	3,926	3,962	3,847	3,895	3,972
Ti	0,006	0,000	0,003	0,005	0,004	0,005	0,005	0,004	0,002	0,006	0,002	0,004	0,003
Cr <sup>3+</sup>	0,007	0,007	0,005	0,003	0,006	0,009	0,004	0,005	0,005	0,006	0,005	0,008	0,002
Fe <sup>2+</sup>	0,048	0,041	0,252	0,033	0,036	0,036	0,062	0,033	0,030	0,040	0,044	0,053	0,028
Mn	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004	0,003	0,000	0,001	0,003	0,000
Mg	0,076	0,101	0,073	0,088	0,064	0,084	0,097	0,070	0,064	0,088	0,139	0,104	0,069
Ca	0,014	0,019	0,010	0,010	0,008	0,010	0,010	0,004	0,006	0,006	0,009	0,021	0,010
Na	0,235	0,300	0,373	0,342	0,255	0,262	0,316	0,173	0,212	0,234	0,482	0,498	0,320
K	1,200	1,323	1,243	1,140	1,352	1,264	1,288	1,313	1,326	1,240	1,221	1,110	1,212
Na/(Na+K)	0,164	0,185	0,231	0,231	0,159	0,172	0,197	0,116	0,138	0,159	0,283	0,309	0,209
Mg/(Mg+Fe)	0,615	0,713	0,225	0,725	0,639	0,703	0,608	0,677	0,683	0,689	0,761	0,664	0,711

**Tabela 11.36** – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.)

Zona de alteração	Tipo 1 (Clorítica)												
Perfil	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
Ref <sup>a</sup> da amostra	131-21			131-22							131-28		
N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2
SiO <sub>2</sub>	49,45	48,10	48,55	49,27	48,49	48,67	48,62	48,64	47,80	48,14	48,92	47,84	48,46
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,04	0,00	0,00	0,04	0,06	0,02	0,06	0,06	0,02	0,07	0,06	0,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,78	36,46	39,60	36,60	36,16	36,79	35,92	36,69	35,72	36,02	34,94	34,37	34,78
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,07	0,04	0,02	0,08	0,05	0,04	0,08	0,07	0,07	0,03	0,04	0,08
FeO	0,40	0,45	0,19	0,36	0,28	0,35	0,34	0,49	0,51	0,41	0,84	0,85	0,92
MnO	0,00	0,03	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,02
MgO	0,50	0,32	0,10	0,58	0,51	0,58	0,58	0,54	0,77	0,64	1,01	0,90	0,95
CaO	0,02	0,11	0,27	0,01	0,04	0,07	0,06	0,02	0,09	0,06	0,07	0,03	0,02
Na <sub>2</sub> O	0,68	2,89	6,04	0,54	1,10	1,03	0,87	0,67	1,03	1,10	0,31	0,45	0,45
K <sub>2</sub> O	7,97	5,58	0,92	8,08	8,70	7,60	8,62	8,20	8,45	8,32	9,36	10,23	9,99
Total	94,91	94,03	95,71	95,46	95,40	95,23	95,07	95,41	94,53	94,78	95,55	94,79	95,76
Número de iões na base de 22 oxigénios													
Si	6,431	6,293	6,131	6,371	6,323	6,312	6,353	6,314	6,297	6,312	6,394	6,354	6,358
Al (IV)	1,569	1,707	1,869	1,629	1,677	1,688	1,647	1,686	1,703	1,688	1,606	1,646	1,642
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	3,916	3,917	4,026	3,950	3,880	3,936	3,884	3,928	3,842	3,877	3,777	3,734	3,738
Ti	0,004	0,004	0,000	0,000	0,004	0,006	0,002	0,006	0,006	0,002	0,007	0,006	0,009
Cr <sup>3+</sup>	0,008	0,007	0,003	0,002	0,009	0,005	0,004	0,008	0,007	0,007	0,003	0,004	0,009
Fe <sup>2+</sup>	0,044	0,049	0,020	0,039	0,030	0,038	0,037	0,053	0,056	0,045	0,092	0,094	0,101
Mn	0,000	0,003	0,000	0,001	0,001	0,003	0,001	0,000	0,005	0,000	0,000	0,001	0,002
Mg	0,098	0,062	0,019	0,111	0,099	0,113	0,113	0,105	0,150	0,125	0,196	0,178	0,185
Ca	0,002	0,015	0,037	0,001	0,006	0,010	0,009	0,003	0,013	0,008	0,010	0,005	0,002
Na	0,172	0,733	1,479	0,136	0,277	0,259	0,221	0,168	0,263	0,281	0,079	0,116	0,114
K	1,322	0,931	0,149	1,333	1,447	1,258	1,437	1,359	1,420	1,391	1,561	1,734	1,673
Na/(Na+K)	0,115	0,441	0,909	0,092	0,161	0,171	0,134	0,110	0,156	0,168	0,048	0,063	0,064
Mg/(Mg+Fe)	0,691	0,558	0,492	0,742	0,764	0,747	0,752	0,663	0,729	0,734	0,680	0,654	0,647



**Tabela 11.37 – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.)**

<b>Zona de alteração</b>	<b>Tipo 1 (Clorítica)</b>												
<b>Perfil</b>	NW	NW	NW	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central
<b>Ref<sup>o</sup> da amostra</b>	131-28			132-39		132-45							
<b>N</b>	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1
SiO <sub>2</sub>	47,95	48,60	48,11	49,33	49,09	45,95	46,06	44,75	48,28	47,11	46,56	45,80	45,60
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,07	0,12	0,02	0,05	0,07	0,04	0,10	0,10	0,06	0,09	0,13	0,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,92	34,39	34,74	34,91	35,09	35,88	35,77	36,10	34,40	35,44	35,86	35,81	35,79
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,10	0,09	0,02	0,10	0,10	0,08	0,06	0,03
FeO	0,93	0,71	0,99	0,42	0,45	0,64	0,57	0,93	1,54	0,83	1,05	0,93	0,84
MnO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00
MgO	1,09	0,99	0,86	1,02	0,93	0,28	0,32	0,32	0,36	0,32	0,24	0,23	0,25
CaO	0,07	0,03	0,11	0,06	0,03	0,02	0,00	0,08	0,14	0,03	0,04	0,06	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,56	0,43	0,45	0,55	0,69	0,59	0,88	0,64	0,29	0,73	0,64	0,89	0,59
K <sub>2</sub> O	9,86	9,99	9,42	8,60	8,73	8,93	8,92	8,65	8,67	8,60	8,76	8,74	8,94
Total	94,49	95,24	94,85	94,94	95,11	92,45	92,67	91,59	93,87	93,23	93,35	92,65	92,17
Número de iões na base de 22 oxigénios													
Si	6,381	6,401	6,355	6,444	6,414	6,210	6,215	6,115	6,421	6,300	6,235	6,189	6,190
Al (IV)	1,619	1,599	1,645	1,556	1,586	1,790	1,785	1,885	1,579	1,700	1,765	1,811	1,810
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	3,701	3,739	3,764	3,820	3,817	3,925	3,905	3,931	3,813	3,887	3,897	3,893	3,917
Ti	0,006	0,007	0,012	0,002	0,005	0,007	0,004	0,010	0,010	0,006	0,009	0,013	0,013
Cr <sup>3+</sup>	0,005	0,003	0,004	0,004	0,005	0,011	0,009	0,002	0,010	0,010	0,008	0,007	0,003
Fe <sup>2+</sup>	0,104	0,078	0,110	0,046	0,049	0,072	0,064	0,107	0,171	0,093	0,118	0,105	0,096
Mn	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000
Mg	0,217	0,194	0,169	0,199	0,181	0,056	0,064	0,064	0,072	0,064	0,049	0,047	0,051
Ca	0,009	0,004	0,015	0,009	0,004	0,003	0,000	0,011	0,019	0,005	0,005	0,008	0,001
Na	0,145	0,110	0,114	0,138	0,176	0,153	0,229	0,169	0,075	0,188	0,166	0,234	0,154
K	1,675	1,679	1,588	1,433	1,455	1,540	1,535	1,507	1,470	1,467	1,497	1,506	1,548
Na/(Na+K)	0,080	0,061	0,067	0,088	0,108	0,091	0,130	0,101	0,049	0,114	0,100	0,134	0,090
Mg/(Mg+Fe)	0,676	0,713	0,607	0,812	0,787	0,438	0,499	0,376	0,295	0,408	0,293	0,307	0,348

**Tabela 11.38** – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.)

<b>Zona de alteração</b>	<b>Tipo 1 (Clorítica)</b>												
<b>Perfil</b>	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central
<b>Ref<sup>o</sup> da amostra</b>	132-45						132-56						
<b>N</b>	1	1	1	1	2	3	1	2	1	2	2	1	1
SiO <sub>2</sub>	45,50	46,82	46,95	47,50	45,91	47,65	46,83	47,69	45,81	48,86	47,30	44,80	46,64
TiO <sub>2</sub>	0,18	0,11	0,28	0,15	0,07	0,09	0,04	0,03	0,08	0,03	0,02	0,04	0,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,47	36,38	33,70	33,63	35,97	35,39	34,51	37,77	36,18	35,64	36,86	36,45	36,85
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,02	0,06	0,02	0,04	0,05	0,10	0,07	0,03	0,09	0,02	0,04	0,08
FeO	0,94	1,04	1,46	1,50	0,96	1,11	0,76	0,43	0,62	0,64	0,49	0,37	0,48
MnO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
MgO	0,24	0,25	0,30	0,36	0,29	0,31	0,84	0,23	0,57	0,46	0,35	0,38	0,35
CaO	0,02	0,01	0,05	0,01	0,01	0,03	0,27	0,34	0,28	0,15	0,25	0,29	0,16
Na <sub>2</sub> O	0,73	0,63	0,85	1,11	0,96	0,89	2,63	4,80	3,03	3,32	4,54	3,76	4,33
K <sub>2</sub> O	8,73	8,56	8,42	8,14	8,79	8,76	6,54	2,91	5,88	4,71	3,47	4,57	3,79
Total	91,84	93,83	92,07	92,41	93,00	94,29	92,56	94,31	92,46	93,91	93,29	90,70	92,71
Número de iões na base de 22 oxigénios													
Si	6,200	6,225	6,380	6,420	6,183	6,317	6,290	6,175	6,143	6,379	6,208	6,088	6,170
Al (IV)	1,800	1,775	1,620	1,580	1,817	1,683	1,710	1,825	1,857	1,621	1,792	1,912	1,830
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	3,895	3,925	3,779	3,778	3,893	3,848	3,754	3,940	3,860	3,864	3,909	3,926	3,918
Ti	0,018	0,010	0,029	0,015	0,007	0,009	0,004	0,003	0,008	0,003	0,002	0,004	0,003
Cr <sup>3+</sup>	0,004	0,002	0,006	0,002	0,005	0,005	0,011	0,007	0,003	0,009	0,002	0,005	0,008
Fe <sup>2+</sup>	0,107	0,116	0,166	0,170	0,108	0,123	0,085	0,047	0,069	0,070	0,054	0,042	0,053
Mn	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,004	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Mg	0,050	0,049	0,060	0,072	0,059	0,062	0,167	0,045	0,113	0,090	0,069	0,077	0,069
Ca	0,003	0,001	0,007	0,001	0,002	0,005	0,039	0,047	0,040	0,020	0,035	0,043	0,023
Na	0,192	0,163	0,224	0,291	0,250	0,228	0,686	1,205	0,787	0,839	1,156	0,991	1,111
K	1,517	1,452	1,460	1,404	1,511	1,482	1,120	0,481	1,006	0,785	0,581	0,793	0,640
Na/(Na+K)	0,113	0,101	0,133	0,172	0,142	0,133	0,380	0,715	0,439	0,517	0,666	0,556	0,635
Mg/(Mg+Fe)	0,316	0,296	0,266	0,298	0,353	0,333	0,663	0,491	0,621	0,562	0,561	0,649	0,567

**Tabela 11.39** – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.)

Zona de alteração	Tipo 1 (Clorítica)											
Perfil	Central	Central	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
Ref <sup>o</sup> da amostra	132-56						121-29					
N	1	2	1	1	1	2	1	1	1	3	1	2
SiO <sub>2</sub>	49,11	48,41	47,65	48,33	48,09	47,86	47,46	46,39	46,78	46,89	46,91	46,76
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,03	0,08	0,03	0,13	0,05	0,00	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,83	37,40	34,58	34,09	33,37	33,77	32,44	34,58	33,44	34,34	34,25	33,49
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06	0,06	0,11	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,07	0,07	0,03	0,05
FeO	0,60	0,48	0,53	0,68	0,79	0,71	0,56	0,81	0,62	0,44	0,65	0,57
MnO	0,00	0,00	0,03	0,03	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
MgO	0,20	0,16	1,10	1,18	1,42	1,30	1,70	1,22	0,92	0,87	1,13	1,32
CaO	0,25	0,24	0,07	0,01	0,04	0,04	0,06	0,08	0,24	0,14	0,10	0,11
Na <sub>2</sub> O	5,40	5,56	1,32	1,21	1,09	0,97	0,42	1,46	0,96	0,72	0,75	0,58
K <sub>2</sub> O	1,93	1,75	9,20	9,45	9,45	9,68	10,17	8,67	8,44	9,09	9,64	10,10
Total	94,38	94,11	94,59	95,02	94,36	94,41	92,95	93,27	91,61	92,63	93,46	93,03
Número de iões na base de 22 oxigénios												
Si	6,320	6,247	6,319	6,384	6,404	6,373	6,428	6,241	6,376	6,330	6,307	6,334
Al (IV)	1,680	1,753	1,681	1,616	1,596	1,627	1,572	1,759	1,624	1,670	1,693	1,666
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	3,908	3,936	3,723	3,692	3,641	3,673	3,608	3,724	3,747	3,793	3,736	3,680
Ti	0,000	0,004	0,000	0,000	0,002	0,003	0,008	0,003	0,014	0,005	0,000	0,004
Cr <sup>3+</sup>	0,006	0,007	0,012	0,004	0,005	0,006	0,006	0,005	0,007	0,008	0,003	0,005
Fe <sup>2+</sup>	0,065	0,052	0,059	0,075	0,088	0,079	0,064	0,091	0,071	0,050	0,073	0,064
Mn	0,000	0,000	0,003	0,003	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
Mg	0,037	0,031	0,218	0,233	0,282	0,258	0,343	0,245	0,186	0,176	0,227	0,266
Ca	0,034	0,033	0,010	0,002	0,006	0,005	0,009	0,011	0,036	0,021	0,014	0,017
Na	1,349	1,392	0,339	0,309	0,281	0,250	0,109	0,380	0,252	0,189	0,196	0,151
K	0,316	0,289	1,557	1,593	1,606	1,644	1,757	1,488	1,468	1,565	1,654	1,746
Na/(Na+K)	0,810	0,828	0,179	0,163	0,149	0,132	0,058	0,203	0,147	0,108	0,106	0,080
Mg/(Mg+Fe)	0,366	0,372	0,787	0,757	0,762	0,766	0,844	0,730	0,725	0,778	0,758	0,805

**Tabela 11.40** – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.)

Zona de alteração	Tipo 2 (Sericítica)									
Perfil	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	SE	SE
Ref <sup>a</sup> da amostra	132-64				132-70				121-34	
N	2	2	2	3	3	3	3	3	1	2
SiO <sub>2</sub>	47,84	48,09	47,79	48,17	49,27	47,15	48,55	46,77	48,96	48,36
TiO <sub>2</sub>	0,15	0,10	0,12	0,12	0,25	0,20	0,23	0,22	0,07	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,60	34,60	33,47	34,14	31,47	31,22	31,55	31,51	31,77	31,83
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,07	0,07	0,02	0,03	0,06
FeO	1,54	0,53	1,22	0,66	0,90	1,20	0,88	1,37	1,41	1,33
MnO	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03	0,05	0,08	0,01	0,02
MgO	1,35	1,15	1,56	1,24	2,09	2,65	2,38	3,09	1,70	1,62
CaO	0,07	0,03	0,10	0,03	0,06	0,06	0,07	0,07	0,09	0,04
Na <sub>2</sub> O	0,33	0,35	0,41	0,46	0,26	0,21	0,23	0,23	0,47	0,33
K <sub>2</sub> O	9,54	10,26	9,56	10,35	10,61	10,30	10,09	10,19	10,19	10,73
Total	94,47	95,19	94,30	95,23	94,96	93,10	94,08	93,55	94,69	94,31
Número de iões na base de 22 oxigénios										
Si	6,373	6,349	6,373	6,367	6,547	6,415	6,498	6,343	6,528	6,495
Al (IV)	1,627	1,651	1,627	1,633	1,453	1,585	1,502	1,657	1,472	1,505
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	3,649	3,732	3,634	3,687	3,476	3,422	3,477	3,379	3,521	3,533
Ti	0,015	0,010	0,012	0,011	0,025	0,021	0,023	0,022	0,007	0,000
Cr <sup>3+</sup>	0,004	0,004	0,005	0,006	0,005	0,007	0,007	0,003	0,003	0,006
Fe <sup>2+</sup>	0,172	0,059	0,136	0,073	0,100	0,137	0,098	0,155	0,157	0,149
Mn	0,002	0,003	0,003	0,001	0,001	0,003	0,005	0,009	0,001	0,002
Mg	0,267	0,226	0,310	0,244	0,413	0,537	0,474	0,626	0,338	0,323
Ca	0,010	0,004	0,014	0,004	0,008	0,008	0,011	0,009	0,013	0,005
Na	0,086	0,090	0,106	0,117	0,068	0,056	0,058	0,062	0,121	0,087
K	1,621	1,729	1,627	1,746	1,799	1,789	1,723	1,763	1,733	1,838
Na/(Na+K)	0,050	0,049	0,061	0,063	0,036	0,030	0,033	0,034	0,065	0,045
Mg/(Mg+Fe)	0,609	0,794	0,695	0,770	0,806	0,797	0,829	0,801	0,683	0,684

**Tabela 11.41** – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respectivo perfil (cont.)

Zona de alteração	Tipo 2 (Sericitica)								
Perfil	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
Ref <sup>o</sup> da amostra	121-34					121-37			
N	2	1	1	3	3	2	2	2	3
SiO <sub>2</sub>	48,92	51,10	48,26	47,81	48,43	48,94	48,99	49,46	49,10
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,05	0,07	0,05	0,08	0,01	0,03	0,03	0,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30,92	30,75	31,90	32,06	31,05	31,49	31,06	31,57	31,55
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10	0,09	0,09	0,06	0,08	0,04	0,02	0,05	0,05
FeO	1,48	1,29	1,43	1,41	1,60	1,31	1,34	1,17	1,30
MnO	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00
MgO	1,79	1,57	1,73	1,68	1,81	1,85	1,85	1,80	1,80
CaO	0,08	0,04	0,01	0,06	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02
Na <sub>2</sub> O	0,36	0,25	0,38	0,42	0,30	0,53	0,48	0,59	0,52
K <sub>2</sub> O	10,43	10,17	10,66	10,71	10,61	10,34	10,41	10,12	10,36
Total	94,13	95,32	94,53	94,28	94,04	94,54	94,20	94,81	94,74
Número de iões na base de 22 oxigénios									
Si	6,575	6,733	6,471	6,435	6,531	6,541	6,573	6,572	6,547
Al (IV)	1,425	1,267	1,529	1,565	1,469	1,459	1,427	1,428	1,453
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	3,472	3,510	3,513	3,522	3,466	3,501	3,485	3,517	3,506
Ti	0,005	0,005	0,007	0,005	0,008	0,001	0,003	0,003	0,003
Cr <sup>3+</sup>	0,011	0,010	0,009	0,006	0,009	0,004	0,002	0,006	0,006
Fe <sup>2+</sup>	0,166	0,143	0,160	0,159	0,181	0,147	0,150	0,130	0,145
Mn	0,000	0,000	0,002	0,001	0,004	0,002	0,003	0,000	0,000
Mg	0,359	0,309	0,346	0,337	0,363	0,368	0,370	0,357	0,358
Ca	0,012	0,006	0,001	0,009	0,006	0,002	0,001	0,002	0,002
Na	0,093	0,064	0,097	0,111	0,079	0,137	0,124	0,151	0,135
K	1,789	1,709	1,823	1,840	1,825	1,763	1,782	1,715	1,762
Na/(Na+K)	0,049	0,036	0,051	0,057	0,042	0,072	0,065	0,081	0,071
Mg/(Mg+Fe)	0,683	0,684	0,684	0,679	0,668	0,715	0,712	0,733	0,712

**Tabela 11.42** – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.)

<b>Zona de alteração</b>	<b>Tipo 3 (Paragonítica)</b>											
<b>Perfil</b>	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
<b>Ref<sup>o</sup> da amostra</b>	131-8											
<b>N</b>	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2
SiO <sub>2</sub>	48,17	48,60	47,42	55,30	45,70	47,52	47,23	48,43	52,59	52,05	47,56	48,33
TiO <sub>2</sub>	0,08	0,03	0,04	0,01	0,04	0,00	0,03	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,62	34,11	36,19	29,79	34,01	38,86	38,61	38,09	35,37	36,05	36,57	39,47
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,03	0,03	0,01	0,06	0,05	0,04	0,06	0,08	0,07	0,03	0,04
FeO	0,46	1,79	0,47	0,75	2,88	0,14	0,11	0,12	0,07	0,18	0,17	0,10
MnO	0,03	0,04	0,00	0,03	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03
MgO	1,11	1,12	0,96	1,30	4,30	0,33	0,24	0,23	0,19	0,30	0,24	0,27
CaO	0,20	0,28	0,25	0,19	0,26	0,17	0,22	0,17	0,21	0,26	0,30	0,17
Na <sub>2</sub> O	2,54	3,90	3,17	3,84	2,29	7,01	6,88	7,30	6,53	5,31	7,14	6,14
K <sub>2</sub> O	6,19	3,97	5,48	2,98	4,23	0,85	1,30	0,56	0,54	1,44	0,88	0,83
Total	92,46	93,88	94,00	94,20	93,85	94,93	94,66	94,97	95,56	95,69	92,91	95,38
Número de iões na base de 22 oxigénios												
Si	6,436	6,387	6,225	7,086	6,067	6,080	6,077	6,182	6,610	6,547	6,223	6,122
Al (IV)	1,564	1,613	1,775	0,914	1,933	1,920	1,923	1,818	1,390	1,453	1,777	1,878
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	3,730	3,671	3,825	3,584	3,387	3,941	3,932	3,913	3,850	3,892	3,862	4,016
Ti	0,008	0,003	0,004	0,000	0,004	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0,002	0,000
Cr <sup>3+</sup>	0,009	0,003	0,003	0,001	0,006	0,005	0,004	0,006	0,008	0,006	0,003	0,004
Fe <sup>2+</sup>	0,051	0,197	0,051	0,081	0,320	0,015	0,012	0,013	0,007	0,019	0,019	0,010
Mn	0,003	0,005	0,000	0,004	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003
Mg	0,221	0,219	0,188	0,248	0,850	0,063	0,045	0,044	0,035	0,055	0,046	0,051
Ca	0,028	0,040	0,035	0,025	0,036	0,023	0,030	0,024	0,028	0,035	0,042	0,023
Na	0,657	0,992	0,807	0,953	0,589	1,738	1,717	1,808	1,592	1,295	1,812	1,508
K	1,055	0,666	0,918	0,488	0,716	0,138	0,214	0,090	0,086	0,231	0,147	0,134
Na/(Na+K)	0,384	0,598	0,468	0,662	0,451	0,926	0,889	0,952	0,949	0,849	0,925	0,918
Mg/(Mg+Fe)	0,812	0,527	0,786	0,754	0,727	0,805	0,788	0,770	0,835	0,745	0,709	0,830

**Tabela 11.43** – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.)

<b>Zona de alteração</b>	<b>Tipo 3 (Paragonítica)</b>											
<b>Perfil</b>	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	Central
<b>Ref<sup>o</sup> da amostra</b>	131-8			131-10								132-12
<b>N</b>	2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2
SiO <sub>2</sub>	47,88	47,54	49,25	50,00	49,83	48,50	45,37	46,56	47,46	44,97	44,54	46,58
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,05	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,91	38,97	31,65	32,28	31,87	33,89	37,95	36,96	37,75	35,81	35,50	34,79
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,08	0,05	0,07	0,08	0,04	0,04
FeO	0,12	0,13	0,65	0,64	0,69	0,83	1,03	0,75	0,39	1,71	1,95	0,76
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01
MgO	0,24	0,17	1,95	2,01	2,07	1,71	2,54	1,60	0,88	4,14	4,83	1,08
CaO	0,18	0,24	0,08	0,02	0,02	0,09	0,55	0,60	0,55	0,47	0,41	0,10
Na <sub>2</sub> O	7,16	7,60	0,71	0,66	0,66	0,87	4,63	4,94	5,50	4,80	4,62	1,77
K <sub>2</sub> O	0,72	0,32	9,18	9,14	9,40	8,52	1,43	2,02	1,87	1,77	1,96	7,21
Total	94,26	95,06	93,53	94,79	94,59	94,46	93,62	93,52	94,47	93,73	93,89	92,44
Número de iões na base de 22 oxigénios												
Si	6,164	6,070	6,581	6,581	6,589	6,404	5,920	6,086	6,124	5,917	5,870	6,265
Al (IV)	1,836	1,930	1,419	1,419	1,411	1,596	2,080	1,914	1,876	2,083	2,130	1,735
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	3,916	3,935	3,567	3,588	3,556	3,679	3,756	3,780	3,865	3,470	3,385	3,782
Ti	0,001	0,005	0,002	0,002	0,000	0,002	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,011
Cr <sup>3+</sup>	0,004	0,005	0,006	0,005	0,004	0,005	0,008	0,005	0,007	0,008	0,004	0,004
Fe <sup>2+</sup>	0,013	0,014	0,072	0,070	0,076	0,092	0,112	0,082	0,042	0,188	0,215	0,086
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,005	0,001	0,000	0,000	0,003	0,001
Mg	0,045	0,033	0,388	0,394	0,409	0,336	0,493	0,313	0,170	0,812	0,949	0,217
Ca	0,025	0,032	0,011	0,002	0,003	0,012	0,076	0,084	0,077	0,066	0,058	0,014
Na	1,787	1,881	0,185	0,168	0,168	0,223	1,170	1,252	1,376	1,224	1,181	0,460
K	0,119	0,051	1,565	1,534	1,586	1,435	0,237	0,337	0,308	0,298	0,330	1,236
Na/(Na+K)	0,938	0,973	0,106	0,099	0,096	0,134	0,831	0,788	0,817	0,804	0,782	0,271
Mg/(Mg+Fe)	0,775	0,701	0,843	0,849	0,843	0,786	0,815	0,793	0,803	0,812	0,815	0,717

**Tabela 11.44** – Análises de sericites classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal e o respetivo perfil (cont.)

<b>Zona de alteração</b>	<b>Tipo 3 (Paragonítica)</b>											
<b>Perfil</b>	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	SE	SE	SE	SE	SE
<b>Refª da amostra</b>	132-12							121-12				
<b>N</b>	1	1	1	1	1	1	3	3	2	2	1	3
SiO <sub>2</sub>	46,10	47,19	47,54	46,79	46,48	46,28	47,56	47,20	46,61	46,91	45,07	44,10
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,09	0,07	0,12	0,12	0,09	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,60	33,94	31,77	33,74	35,11	35,94	38,69	39,05	39,18	38,92	38,03	36,48
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,01	0,17	0,14	0,02	0,08	0,07	0,03	0,06	0,04	0,08	0,08
FeO	0,40	0,71	0,81	0,63	0,64	0,59	0,13	0,24	0,13	0,20	0,38	0,92
MnO	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,10
MgO	0,88	1,18	1,94	1,08	0,96	0,69	0,15	0,21	0,15	0,16	1,11	4,40
CaO	0,06	0,14	0,05	0,06	0,11	0,22	0,08	0,27	0,42	0,38	0,62	0,48
Na <sub>2</sub> O	1,28	1,81	0,60	1,53	3,14	3,93	8,14	7,46	6,97	7,07	6,49	5,31
K <sub>2</sub> O	7,56	7,49	9,32	7,51	5,49	4,57	0,18	0,35	0,40	0,50	0,88	0,99
Total	90,99	92,56	92,29	91,60	92,07	92,41	95,03	94,82	93,94	94,20	92,66	92,84
Número de iões na base de 22 oxigénios												
Si	6,288	6,347	6,467	6,352	6,240	6,177	6,081	6,046	6,019	6,046	5,938	5,828
Al (IV)	1,712	1,653	1,533	1,648	1,760	1,823	1,919	1,954	1,981	1,954	2,062	2,172
Sum (IV)	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (VI)	3,850	3,728	3,561	3,752	3,796	3,830	3,912	3,942	3,982	3,959	3,845	3,509
Ti	0,006	0,009	0,007	0,012	0,012	0,009	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Cr <sup>3+</sup>	0,006	0,001	0,018	0,015	0,002	0,009	0,007	0,003	0,006	0,004	0,008	0,008
Fe <sup>2+</sup>	0,046	0,080	0,092	0,071	0,072	0,066	0,014	0,025	0,014	0,021	0,041	0,101
Mn	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,011
Mg	0,179	0,237	0,394	0,219	0,193	0,138	0,029	0,039	0,028	0,031	0,219	0,866
Ca	0,008	0,020	0,007	0,009	0,015	0,032	0,011	0,037	0,057	0,053	0,087	0,067
Na	0,339	0,472	0,158	0,403	0,818	1,018	2,018	1,852	1,745	1,767	1,658	1,361
K	1,316	1,284	1,617	1,301	0,941	0,778	0,029	0,056	0,065	0,083	0,148	0,167
Na/(Na+K)	0,205	0,269	0,089	0,237	0,465	0,567	0,986	0,970	0,964	0,955	0,918	0,891
Mg/(Mg+Fe)	0,797	0,747	0,810	0,755	0,728	0,676	0,670	0,609	0,668	0,599	0,841	0,895



## Anexo IV.3 – Análises de Carbonato

**Tabela 11.45** – Análises de carbonatos classificadas segundo o respetivo perfil

Carbonato	Calcite													
Perfil	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
Ref <sup>o</sup> da Amostra	131-8							131-10					131-18	
N	2	1	1	2	2	1	3	2	2	2	1	1	2	2
CO <sub>2</sub>	44,99	44,18	47,15	46,09	44,71	47,03	45,89	44,98	44,98	44,53	43,72	45,87	46,37	46,37
MgO	0,12	0,04	0,08	0,18	0,19	0,03	0,13	0,19	0,23	0,15	0,13	0,55	0,37	0,37
CaO	53,94	55,36	51,23	52,70	53,88	52,31	53,06	54,46	54,32	55,02	55,99	49,14	50,24	50,24
FeO	0,07	0,00	0,08	0,15	0,16	0,04	0,16	0,12	0,16	0,10	0,10	0,46	1,34	1,34
MnO	0,88	0,42	1,46	0,88	1,06	0,58	0,76	0,25	0,30	0,20	0,06	3,99	1,69	1,69
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Proporção percentual dos termos finais														
Mg(CO <sub>3</sub> )	0,25	0,09	0,16	0,37	0,40	0,07	0,26	0,40	0,49	0,32	0,27	1,14	0,78	0,78
Ca(CO <sub>3</sub> )	96,28	98,80	91,43	94,05	96,17	93,36	94,70	97,20	96,95	98,19	99,92	87,70	89,66	89,66
Fe(CO <sub>3</sub> )	0,11	0,00	0,14	0,24	0,25	0,06	0,26	0,19	0,26	0,16	0,15	0,74	2,15	2,15
Mn(CO <sub>3</sub> )	1,43	0,68	2,36	1,43	1,72	0,95	1,23	0,41	0,49	0,32	0,10	6,47	2,74	2,74
Total	98,07	99,58	94,09	96,10	98,54	94,44	96,45	98,20	98,19	99,00	100,45	96,04	95,33	95,33
Número de iões na base de 2 catiões														
C	2,029	2,006	2,087	2,058	2,022	2,082	2,053	2,027	2,027	2,015	1,993	2,059	2,070	2,070
Mg	0,006	0,002	0,004	0,009	0,009	0,002	0,006	0,009	0,012	0,007	0,006	0,027	0,018	0,018
Ca	1,909	1,973	1,780	1,847	1,912	1,817	1,863	1,926	1,921	1,954	2,003	1,731	1,760	1,760
Fe	0,002	0,000	0,002	0,004	0,004	0,001	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,013	0,036	0,036
Mn	0,025	0,012	0,040	0,025	0,030	0,016	0,021	0,007	0,008	0,006	0,002	0,111	0,047	0,047

**Tabela 11.46** – Análises de carbonatos classificadas segundo o respetivo perfil (cont.)

Carbonato	Calcite													
Perfil	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
Ref <sup>o</sup> da Amostra	131-18		131-19			131-21			131-22			131-33		
N	2	2	1	2	3	3	2	3	2	2	2	2	1	2
CO <sub>2</sub>	46,13	45,71	45,02	44,36	45,24	45,49	45,27	45,11	46,19	46,02	45,89	44,94	45,50	45,01
MgO	0,39	0,33	5,24	2,72	0,48	0,16	0,32	0,13	0,10	0,55	0,11	0,09	0,09	1,35
CaO	50,08	50,93	45,15	49,16	52,65	52,95	53,26	54,09	53,27	51,82	51,94	52,76	53,48	49,93
FeO	1,70	1,33	3,94	3,42	1,12	1,27	1,13	0,50	0,28	1,08	1,06	0,71	0,52	1,08
MnO	1,70	1,71	0,65	0,35	0,52	0,12	0,03	0,17	0,16	0,52	1,00	1,50	0,41	2,63
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Proporção percentual dos termos finais														
Mg(CO <sub>3</sub> )	0,82	0,69	10,97	5,68	1,00	0,33	0,66	0,28	0,21	1,16	0,22	0,19	0,18	2,83
Ca(CO <sub>3</sub> )	89,38	90,89	80,59	87,73	93,97	94,51	95,06	96,54	95,07	92,49	92,70	94,17	95,46	89,11
Fe(CO <sub>3</sub> )	2,74	2,14	6,35	5,51	1,80	2,05	1,81	0,80	0,45	1,74	1,71	1,14	0,84	1,74
Mn(CO <sub>3</sub> )	2,75	2,78	1,05	0,56	0,84	0,20	0,05	0,27	0,26	0,85	1,63	2,43	0,66	4,26
Total	95,69	96,49	98,95	99,49	97,60	97,09	97,58	97,89	96,00	96,23	96,26	97,93	97,15	97,93
Número de iões na base de 2 catiões														
C	2,064	2,052	2,016	2,008	2,036	2,044	2,036	2,032	2,060	2,056	2,056	2,031	2,043	2,031
Mg	0,019	0,016	0,256	0,134	0,023	0,008	0,015	0,006	0,005	0,027	0,005	0,005	0,004	0,067
Ca	1,759	1,795	1,586	1,746	1,860	1,867	1,880	1,912	1,864	1,817	1,826	1,871	1,884	1,768
Fe	0,046	0,036	0,108	0,095	0,031	0,035	0,031	0,014	0,008	0,029	0,029	0,020	0,014	0,030
Mn	0,047	0,048	0,018	0,010	0,014	0,003	0,001	0,005	0,005	0,015	0,028	0,042	0,011	0,074

**Tabela 11.47 – Análises de carbonatos classificadas segundo o respetivo perfil (cont.)**

Carbonato	Calcite													
Perfil	NW	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central
Refº da Amostra	131-33	132-12							132-15		132-56		132-59	
N	1	3	2	1	2	1	1	3	2	3	2	3	1	2
CO <sub>2</sub>	45,21	46,49	45,53	45,57	45,42	48,43	45,75	46,03	45,94	45,76	46,40	45,32	44,62	45,83
MgO	0,02	0,34	0,34	0,34	0,24	0,56	0,38	0,12	0,19	0,47	0,04	0,29	0,24	0,23
CaO	53,08	50,84	52,10	49,63	51,53	48,75	51,69	50,73	52,41	49,24	52,25	52,53	54,16	53,12
FeO	0,90	0,95	0,82	0,40	0,69	1,04	0,97	0,31	0,09	0,18	0,28	0,46	0,32	0,24
MnO	0,80	1,39	1,21	4,06	2,11	1,22	1,21	2,81	1,37	4,36	1,03	1,40	0,66	0,58
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Proporção percentual dos termos finais														
Mg(CO <sub>3</sub> )	0,05	0,71	0,70	0,71	0,51	1,18	0,80	0,24	0,39	0,98	0,09	0,61	0,50	0,48
Ca(CO <sub>3</sub> )	94,73	90,73	92,99	88,59	91,97	87,01	92,26	90,54	93,53	87,88	93,25	93,76	96,67	94,81
Fe(CO <sub>3</sub> )	1,44	1,53	1,32	0,65	1,12	1,68	1,56	0,50	0,15	0,28	0,45	0,74	0,51	0,38
Mn(CO <sub>3</sub> )	1,29	2,25	1,96	6,58	3,43	1,97	1,96	4,56	2,22	7,07	1,67	2,26	1,07	0,95
Total	97,52	95,22	96,98	96,52	97,02	91,84	96,58	95,84	96,30	96,21	95,46	97,37	98,75	96,62
Número de iões na base de 2 catiões														
C	2,037	2,071	2,045	2,052	2,045	2,119	2,051	2,062	2,055	2,057	2,067	2,040	2,019	2,050
Mg	0,001	0,017	0,016	0,017	0,012	0,027	0,019	0,006	0,009	0,023	0,002	0,014	0,012	0,011
Ca	1,877	1,777	1,837	1,754	1,820	1,674	1,819	1,784	1,840	1,737	1,827	1,855	1,923	1,865
Fe	0,025	0,026	0,023	0,011	0,019	0,028	0,027	0,009	0,003	0,005	0,008	0,013	0,009	0,006
Mn	0,022	0,038	0,034	0,113	0,059	0,033	0,034	0,078	0,038	0,122	0,029	0,039	0,019	0,016

**Tabela 11.48** – Análises de carbonatos classificadas segundo o respetivo perfil (cont.)

Carbonato	Calcite														
Perfil	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
Ref <sup>o</sup> da Amostra	121-12					121-25			121-26	121-29			121-29	121-37	
N	3	1	2	1	1	3	3	2	2	1	2	2	1	2	2
CO <sub>2</sub>	44,96	45,23	45,55	44,38	45,43	45,21	45,65	45,61	45,68	45,31	47,36	48,62	44,82	44,30	46,13
MgO	0,05	0,17	0,10	0,13	0,04	0,02	0,01	0,04	0,15	0,04	0,01	0,03	2,45	0,09	0,08
CaO	52,87	53,06	53,33	53,45	53,40	53,22	52,97	52,71	53,20	54,16	52,17	50,81	49,56	55,33	53,11
FeO	0,04	0,11	0,02	0,00	0,07	1,26	0,91	1,40	0,31	0,07	0,07	0,11	2,79	0,14	0,39
MnO	2,09	1,43	0,99	2,04	1,06	0,29	0,46	0,24	0,66	0,42	0,39	0,43	0,39	0,14	0,29
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Proporção percentual dos termos finais															
Mg(CO <sub>3</sub> )	0,09	0,36	0,22	0,27	0,09	0,05	0,03	0,09	0,31	0,09	0,01	0,07	5,12	0,18	0,16
Ca(CO <sub>3</sub> )	94,35	94,69	95,19	95,40	95,31	94,98	94,53	94,07	94,96	96,66	93,10	90,69	88,45	98,76	94,80
Fe(CO <sub>3</sub> )	0,06	0,18	0,04	0,00	0,11	2,03	1,47	2,25	0,50	0,11	0,11	0,17	4,49	0,22	0,63
Mn(CO <sub>3</sub> )	3,38	2,32	1,61	3,31	1,72	0,48	0,74	0,39	1,07	0,68	0,64	0,70	0,64	0,23	0,46
Total	97,90	97,55	97,05	98,98	97,22	97,53	96,77	96,80	96,83	97,54	93,87	91,63	98,70	99,39	96,05
Número de iões na base de 2 catiões															
C	2,032	2,037	2,044	2,016	2,042	2,037	2,048	2,048	2,047	2,037	2,090	2,122	2,020	2,009	2,059
Mg	0,002	0,008	0,005	0,006	0,002	0,001	0,001	0,002	0,007	0,002	0,000	0,001	0,121	0,004	0,004
Ca	1,875	1,875	1,878	1,905	1,883	1,882	1,865	1,857	1,871	1,911	1,807	1,740	1,753	1,969	1,860
Fe	0,001	0,003	0,001	0,000	0,002	0,035	0,025	0,038	0,008	0,002	0,002	0,003	0,077	0,004	0,011
Mn	0,059	0,040	0,028	0,058	0,030	0,008	0,013	0,007	0,018	0,012	0,011	0,012	0,011	0,004	0,008

**Tabela 11.49** – Análises de carbonatos classificadas segundo o respetivo perfil (cont.)

Carbonato	Anquerite								
Perfil	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
Refª da Amostra	131-19								131-21
N	3	2	2	2	1	1	3	2	2
CO <sub>2</sub>	45,34	45,70	46,11	45,45	46,12	46,93	45,41	45,29	46,93
MgO	12,52	12,96	11,68	11,28	11,43	11,46	11,68	12,65	11,21
CaO	28,56	28,95	27,82	28,89	24,85	26,81	28,32	28,38	27,84
FeO	13,06	11,56	13,80	13,79	17,09	14,13	13,98	13,15	13,06
MnO	0,53	0,82	0,59	0,59	0,51	0,67	0,62	0,53	0,96
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Proporção percentual dos termos finais									
Mg(CO <sub>3</sub> )	26,19	27,12	24,43	23,60	23,91	23,97	24,43	26,46	23,44
Ca(CO <sub>3</sub> )	50,97	51,67	49,65	51,56	44,35	47,85	50,55	50,65	49,69
Fe(CO <sub>3</sub> )	21,05	18,65	22,25	22,23	27,56	22,78	22,54	21,21	21,05
Mn(CO <sub>3</sub> )	0,86	1,33	0,95	0,96	0,83	1,09	1,00	0,86	1,56
Total	99,07	98,76	97,29	98,35	96,65	95,69	98,51	99,18	95,75
Número de iões na base de 2 catiões									
C	2,014	2,018	2,040	2,025	2,050	2,063	2,022	2,012	2,062
Mg	0,607	0,625	0,564	0,549	0,555	0,550	0,568	0,614	0,538
Ca	0,995	1,003	0,966	1,010	0,867	0,925	0,990	0,990	0,960
Fe	0,355	0,313	0,374	0,376	0,465	0,380	0,381	0,358	0,351
Mn	0,015	0,022	0,016	0,016	0,014	0,018	0,017	0,015	0,026

**Tabela 11.50** – Análises de carbonatos classificadas segundo o respetivo perfil (cont.)

Carbonato	Anquerite									
Perfil	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central	Central
Refº da Amostra	132-41		132-46			132-52			132-59	
N	3	3	2	1	1	2	3	2	1	2
CO <sub>2</sub>	44,43	44,69	43,76	44,14	44,55	44,81	45,40	44,43	45,29	45,89
MgO	9,69	9,07	7,18	6,07	7,49	9,96	8,56	10,79	12,71	13,75
CaO	27,89	28,01	27,19	29,52	27,46	28,17	27,94	28,47	29,76	29,77
FeO	15,04	15,71	17,43	12,87	16,31	14,98	16,08	14,35	9,74	8,65
MnO	2,94	2,52	4,44	7,40	4,20	2,08	2,02	1,97	2,49	1,94
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Proporção percentual dos termos finais										
Mg(CO <sub>3</sub> )	20,27	18,97	15,02	12,71	15,66	20,83	17,91	22,57	26,60	28,76
Ca(CO <sub>3</sub> )	49,78	49,99	48,53	52,68	49,00	50,27	49,86	50,81	53,12	53,14
Fe(CO <sub>3</sub> )	24,25	25,33	28,10	20,76	26,30	24,15	25,93	23,13	15,71	13,95
Mn(CO <sub>3</sub> )	4,77	4,09	7,19	11,99	6,80	3,38	3,27	3,19	4,04	3,15
Total	99,08	98,38	98,84	98,13	97,77	98,63	96,97	99,70	99,46	98,99
Número de iões na base de 2 catiões										
C	2,014	2,025	2,018	2,029	2,034	2,021	2,046	2,005	2,008	2,015
Mg	0,480	0,448	0,362	0,305	0,373	0,490	0,421	0,532	0,616	0,659
Ca	0,992	0,996	0,984	1,065	0,984	0,997	0,988	1,008	1,035	1,026
Fe	0,418	0,436	0,492	0,362	0,456	0,414	0,444	0,396	0,265	0,233
Mn	0,083	0,071	0,127	0,211	0,119	0,058	0,056	0,055	0,069	0,053

## Anexo IV.4 – Análises de Feldspato



**Tabela 11.51** – Análises de feldspatos classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal

<b>Zona de alteração</b>	<b>Tipo 2 (Sericitica)</b>											
<b>Refª da amostra</b>	<b>121-34</b>											
SiO <sub>2</sub>	68,68	68,67	69,06	66,83	68,01	67,02	68,25	68,75	69,37	67,42	68,60	68,81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,88	19,33	19,35	19,88	18,96	19,45	19,18	19,61	19,24	20,58	18,64	19,28
FeO	0,08	0,00	0,00	0,06	0,02	0,05	0,00	0,00	0,01	0,10	0,03	0,01
CaO	0,71	0,52	0,21	0,67	0,42	0,44	0,17	0,55	0,24	0,40	0,28	0,42
Na <sub>2</sub> O	11,29	11,34	11,70	10,85	11,52	11,61	11,21	11,32	11,58	10,36	11,63	11,40
K <sub>2</sub> O	0,04	0,03	0,03	0,34	0,03	0,00	0,04	0,02	0,04	0,89	0,04	0,02
BaO	0,03	0,04	0,17	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,04	0,08	0,03	0,00
Total	100,70	99,92	100,51	98,64	98,95	98,59	98,87	100,25	100,51	99,83	99,25	99,93
<b>Número de iões com base em 32 oxigénios</b>												
Si	11,92	12,00	12,01	11,86	12,01	11,90	12,03	11,97	12,05	11,83	12,07	12,02
Al	4,07	3,98	3,97	4,16	3,95	4,07	3,99	4,02	3,94	4,26	3,87	3,97
Fe	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Ca	0,13	0,10	0,04	0,13	0,08	0,08	0,03	0,10	0,05	0,07	0,05	0,08
Na	3,80	3,84	3,94	3,73	3,94	4,00	3,83	3,82	3,90	3,52	3,97	3,86
K	0,01	0,01	0,01	0,08	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,20	0,01	0,00
Ba	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Total	19,95	19,93	19,98	19,97	19,99	20,06	19,89	19,93	19,94	19,90	19,98	19,93
% Mol.												
Or	0,2	0,2	0,2	2,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,2	5,2	0,2	0,1
Ab	96,4	97,4	98,8	94,8	97,9	97,9	98,9	97,3	98,6	92,8	98,5	97,9
An	3,3	2,4	1,0	3,3	1,9	2,1	0,8	2,6	1,1	2,0	1,3	2,0

**Tabela 11.52** – Análises de feldspatos classificadas segundo a zona de alteração hidrotermal (cont.)

<b>Zona de alteração</b>	<b>Tipo 3 (Paragonítica)</b>									
<b>Refª da amostra</b>	<b>131-10</b>									
SiO <sub>2</sub>	67,41	68,13	66,65	68,01	68,54	69,08	68,80	65,84	67,39	73,37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,64	19,38	20,15	19,71	20,15	19,08	19,74	20,11	19,33	17,52
FeO	0,05	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06	0,09	0,10
CaO	0,90	0,43	1,70	0,90	0,83	0,13	0,59	1,48	0,29	0,68
Na <sub>2</sub> O	10,96	11,34	10,75	11,18	10,97	11,83	11,43	10,58	11,37	9,11
K <sub>2</sub> O	0,01	0,00	0,03	0,00	0,03	0,04	0,03	0,00	0,02	0,00
BaO	0,00	0,05	0,02	0,01	0,09	0,09	0,17	0,03	0,05	0,09
Total	98,98	99,33	99,32	99,81	100,61	100,24	100,80	98,11	98,54	100,87
<b>Número de iões com base em 32 oxigénios</b>										
Si	11,91	11,98	11,77	11,91	11,90	12,04	11,94	11,76	11,95	12,53
Al	4,09	4,02	4,19	4,07	4,12	3,92	4,04	4,23	4,04	3,53
Fe	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Ca	0,17	0,08	0,32	0,17	0,15	0,02	0,11	0,28	0,05	0,12
Na	3,75	3,87	3,68	3,80	3,69	4,00	3,85	3,67	3,91	3,02
K	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
Total	19,93	19,95	19,98	19,95	19,89	20,00	19,96	19,95	19,98	19,22
% Mol.										
Or	0,1	0,0	0,2	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0
Ab	95,6	97,9	91,8	95,7	95,8	99,2	97,1	92,8	98,5	96,0
An	4,3	2,1	8,0	4,3	4,0	0,6	2,8	7,2	1,4	3,9

## **ANEXO V – Química de rocha total – Métodos analíticos e limites de deteção**

**Tabela 11.53** – Métodos analíticos e respetivos limites de detecção utilizados para cada elemento analisado

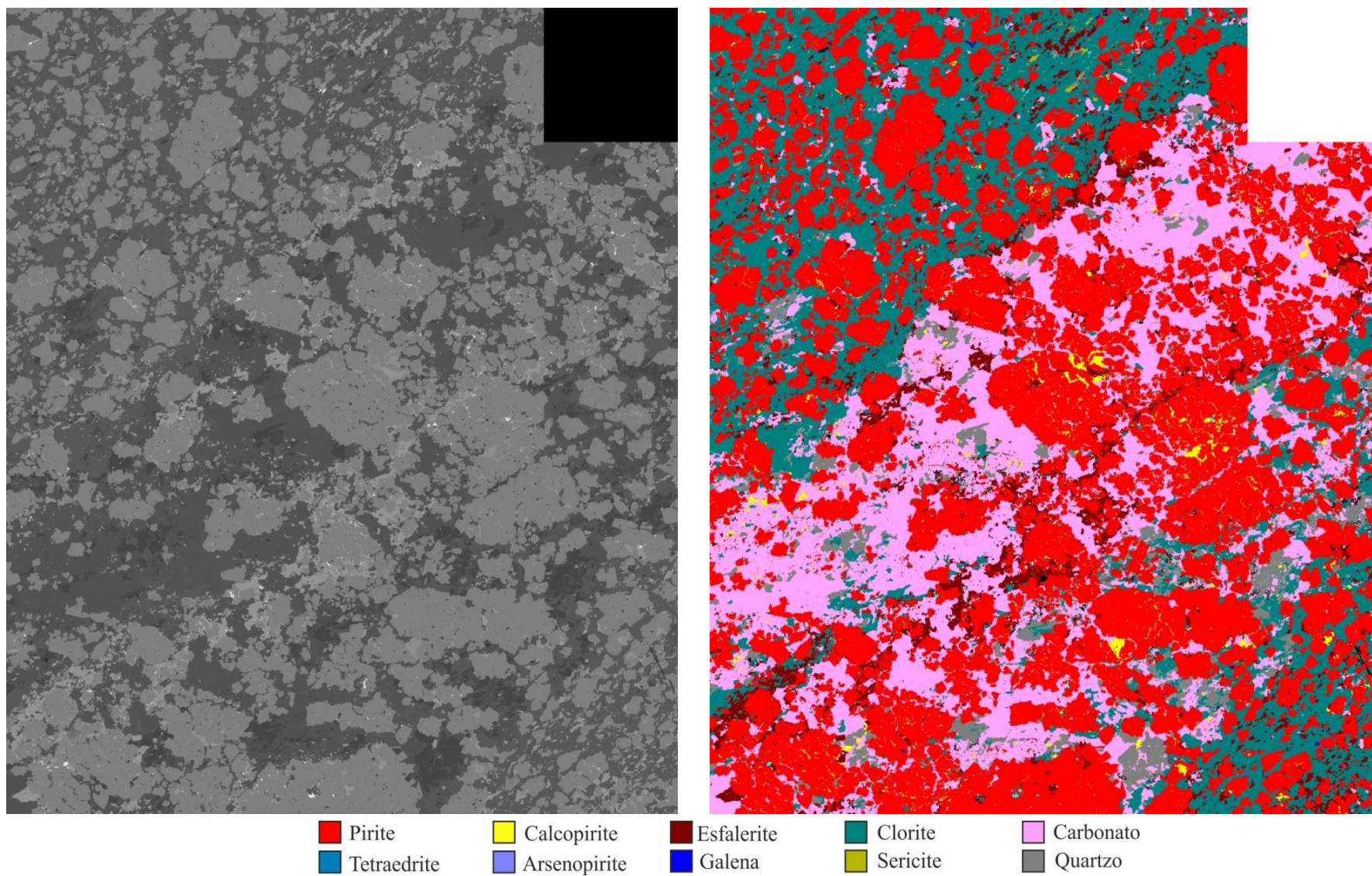
<b>Óxido / Elemento</b>	<b>Método (Código ALS)</b>	<b>Instrumento analítico</b>	<b>Limite de detecção</b>	<b>Unidade</b>
SiO <sub>2</sub>	ME-ICP06	ICP-AES	0,01	%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ME-ICP06	ICP-AES	0,01	%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ME-ICP06	ICP-AES	0,01	%
MnO	ME-ICP06	ICP-AES	0,01	%
MgO	ME-ICP06	ICP-AES	0,01	%
CaO	ME-ICP06	ICP-AES	0,01	%
Na <sub>2</sub> O	ME-ICP06	ICP-AES	0,01	%
K <sub>2</sub> O	ME-ICP06	ICP-AES	0,01	%
TiO <sub>2</sub>	ME-ICP06	ICP-AES	0,01	%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ME-ICP06	ICP-AES	0,01	%
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ME-ICP06	ICP-AES	0,01	%
SrO	ME-ICP06	ICP-AES	0,01	%
BaO	ME-ICP06	ICP-AES	0,01	%
S	S-IR08	LECO	0,01	%
Li	ME-4ACD81	ICP-AES	10	ppm
Rb	ME-MS81	ICP-MS	0,2	ppm
Cs	ME-MS81	ICP-MS	0,01	ppm
Sr	ME-MS81	ICP-MS	0,1	ppm
Ba	ME-MS81	ICP-MS	0,5	ppm
Sc	ME-4ACD81	ICP-AES	1	ppm
Y	ME-MS81	ICP-MS	0,5	ppm
Zr	ME-MS81	ICP-MS	2	ppm
Hf	ME-MS81	ICP-MS	0,2	ppm
Th	ME-MS81	ICP-MS	0,05	ppm
V	ME-MS81	ICP-MS	5	ppm
Nb	ME-MS81	ICP-MS	0,2	ppm
Ta	ME-MS81	ICP-MS	0,1	ppm
Cr	ME-MS81	ICP-MS	10	ppm
Mo	ME-4ACD81	ICP-AES	1	ppm
W	ME-MS81	ICP-MS	1	ppm
U	ME-MS81	ICP-MS	0,05	ppm
Co	ME-4ACD81	ICP-AES	1	ppm
Ni	ME-4ACD81	ICP-AES	1	ppm
Cu	ME-4ACD81	ICP-AES	1	ppm
Cu (>1%)	Cu-OG62	ICP-AES / AAS	1	ppb

**Tabela 11.54** – Métodos analíticos e respectivos limites de detecção utilizados para cada elemento analisado (cont.)

<b>Óxido / Elemento</b>	<b>Método (Código ALS)</b>	<b>Instrumento analítico</b>	<b>Limite de detecção</b>	<b>Unidade</b>
Ag	ME-4ACD81	ICP-AES	0,5	ppm
Au	Au-AA23	AAS	5	ppb
Zn	ME-4ACD81	ICP-AES	2	ppm
Zn (>1%)	Zn-OG62	ICP-AES / AAS	1	ppb
Cd	ME-4ACD81	ICP-AES	0,5	ppm
Hg	ME-MS42	ICP-MS	5	ppb
Ga	ME-MS81	ICP-MS	0,1	ppm
In	ME-MS81	ICP-MS	0,05	ppm
Tl	ME-MS42	ICP-MS	0,02	ppm
C	C-IR07	LECO	0,01	%
Ge	ME-MS42	ICP-MS	0,05	ppm
Sn	ME-MS81	ICP-MS	1	ppm
Pb	ME-4ACD81	ICP-AES	2	ppm
Pb (>1%)	Pb-OG62	ICP-AES / AAS	1	ppb
As	ME-MS42	ICP-MS	0,1	ppm
Sb	ME-MS42	ICP-MS	0,05	ppm
Bi	ME-MS42	ICP-MS	0,01	ppm
Te	ME-MS42	ICP-MS	0,01	ppm
Se	ME-MS42	ICP-MS	0,2	ppm
La	ME-MS81	ICP-MS	0,5	ppm
Ce	ME-MS81	ICP-MS	0,5	ppm
Pr	ME-MS81	ICP-MS	0,03	ppm
Nd	ME-MS81	ICP-MS	0,2	ppm
Sm	ME-MS81	ICP-MS	0,03	ppm
Eu	ME-MS81	ICP-MS	0,03	ppm
Gd	ME-MS81	ICP-MS	0,05	ppm
Tb	ME-MS81	ICP-MS	0,01	ppm
Dy	ME-MS81	ICP-MS	0,05	ppm
Ho	ME-MS81	ICP-MS	0,01	ppm
Er	ME-MS81	ICP-MS	0,03	ppm
Tm	ME-MS81	ICP-MS	0,01	ppm
Yb	ME-MS81	ICP-MS	0,03	ppm
Lu	ME-MS81	ICP-MS	0,01	ppm

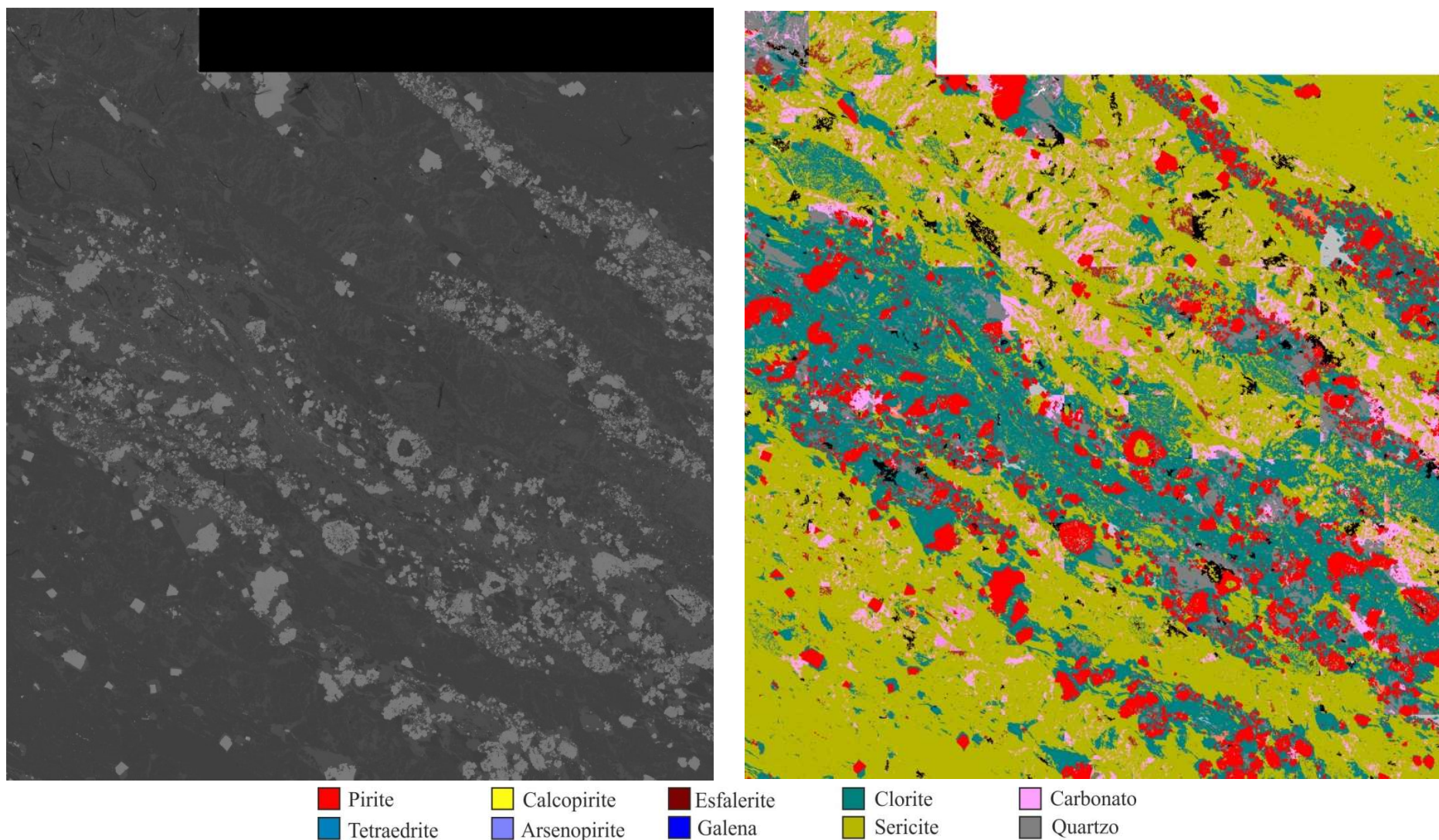
## **ANEXO VI – Datos de Mineralogia Automática**

Anexo VI.1 – Imagens de elétrons retro-difundidos e  
correspondentes imagens de cores “falsas” geradas por  
MLA

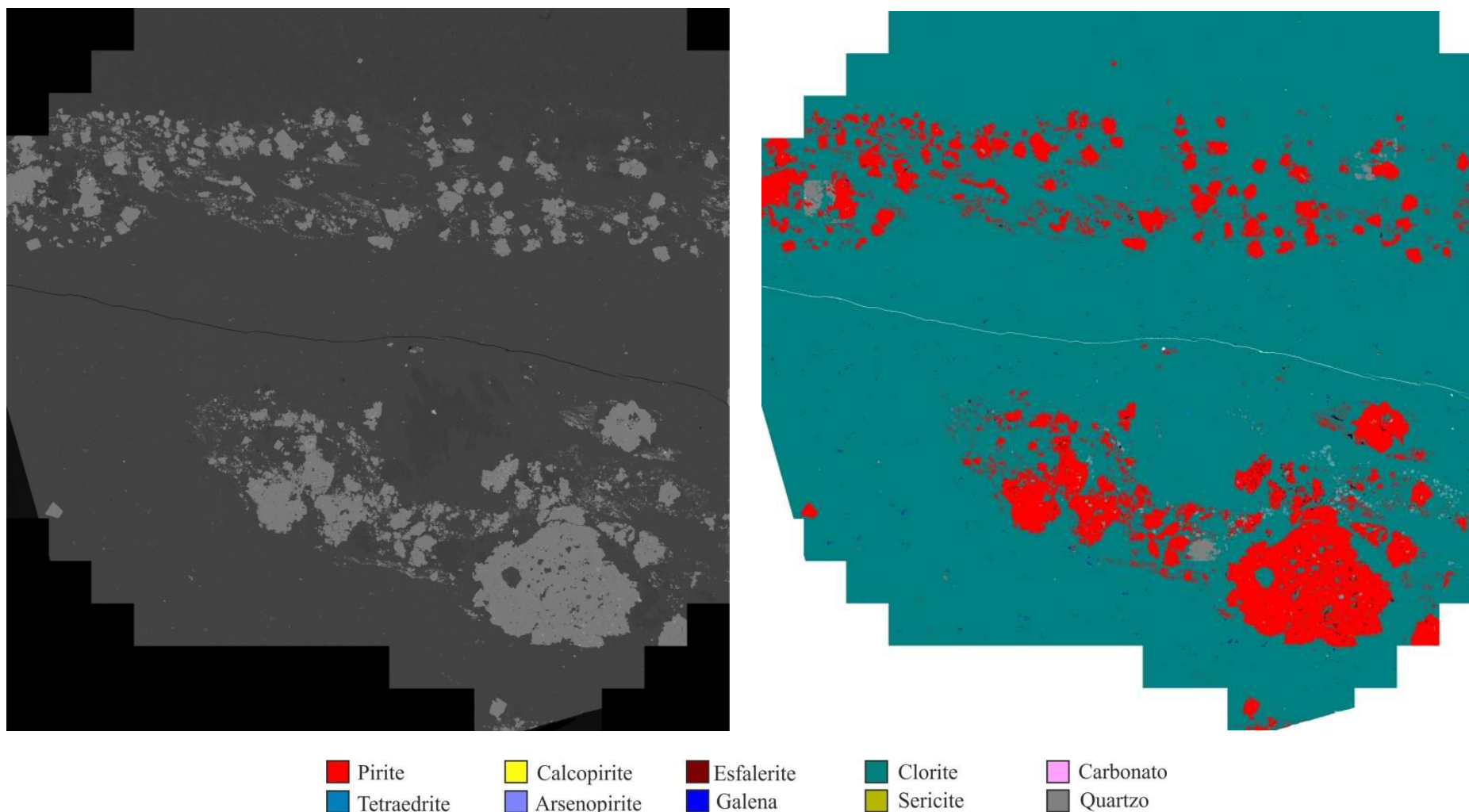


**Figura 11.2** – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13001-18, gerada por MLA através do método GXPAP



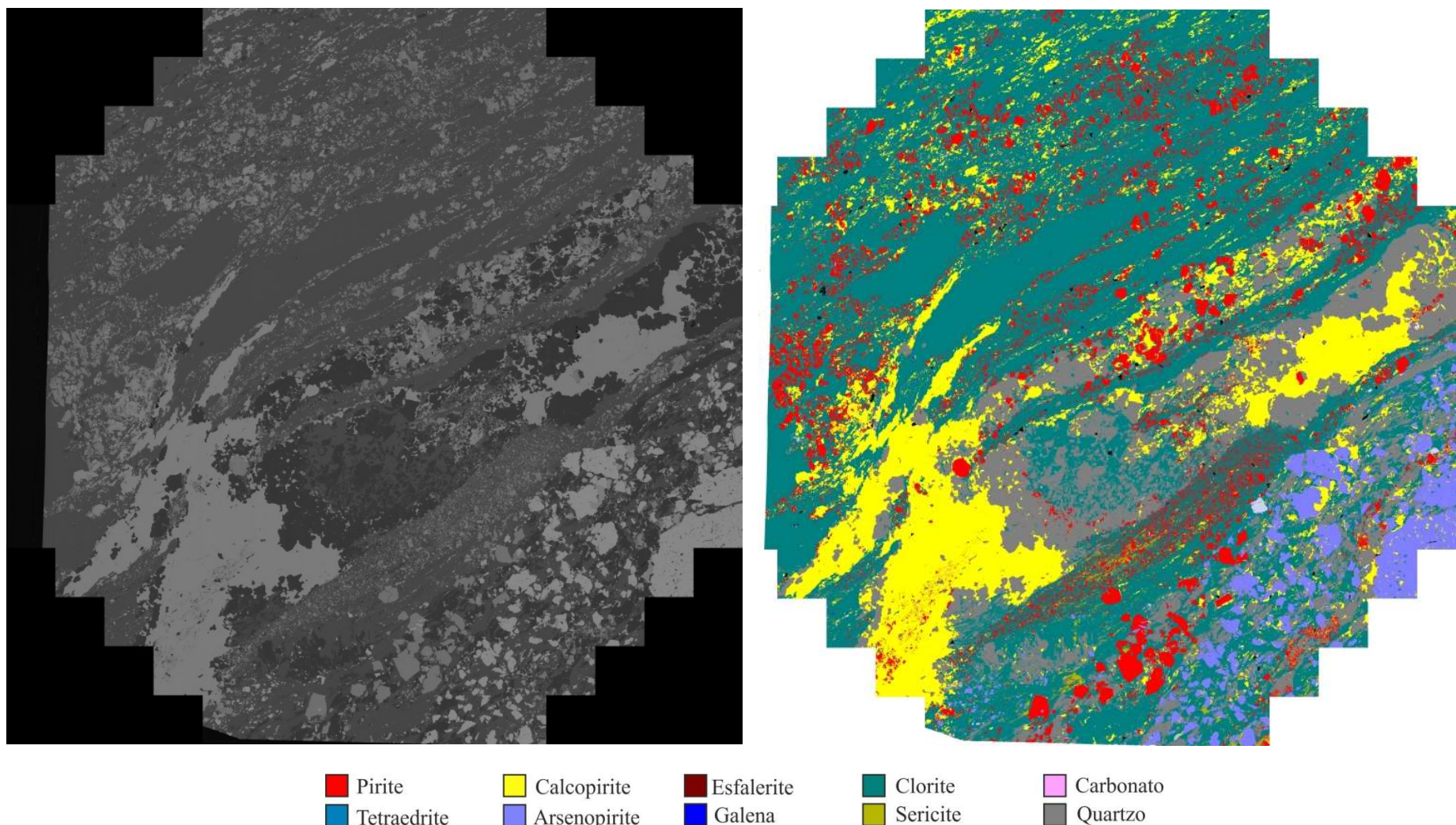


**Figura 11.3** – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13001-21, gerada por MLA através do método *XBSE*



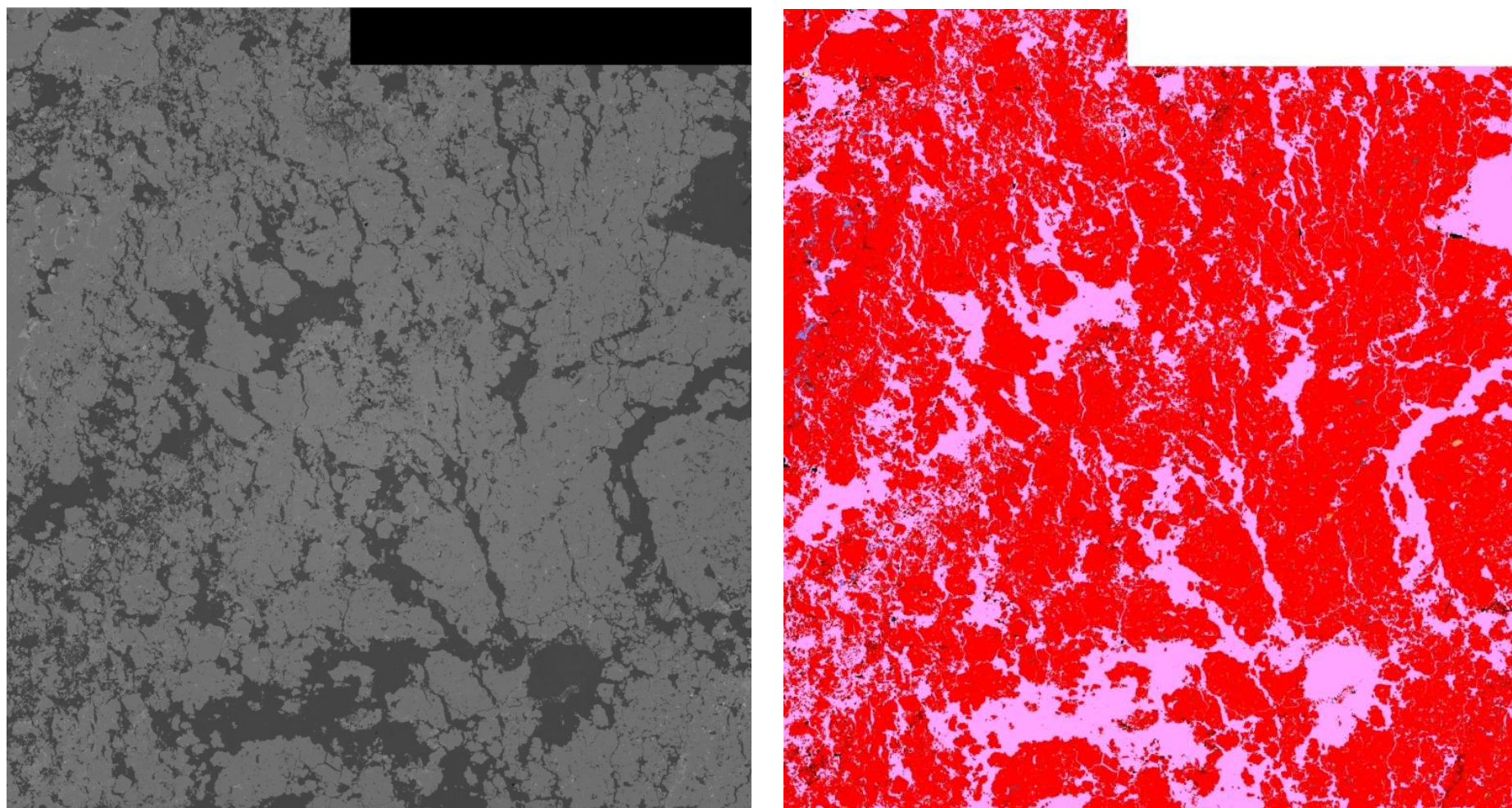
**Figura 11.4** – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13001-25, gerada por MLA através do método XBSE





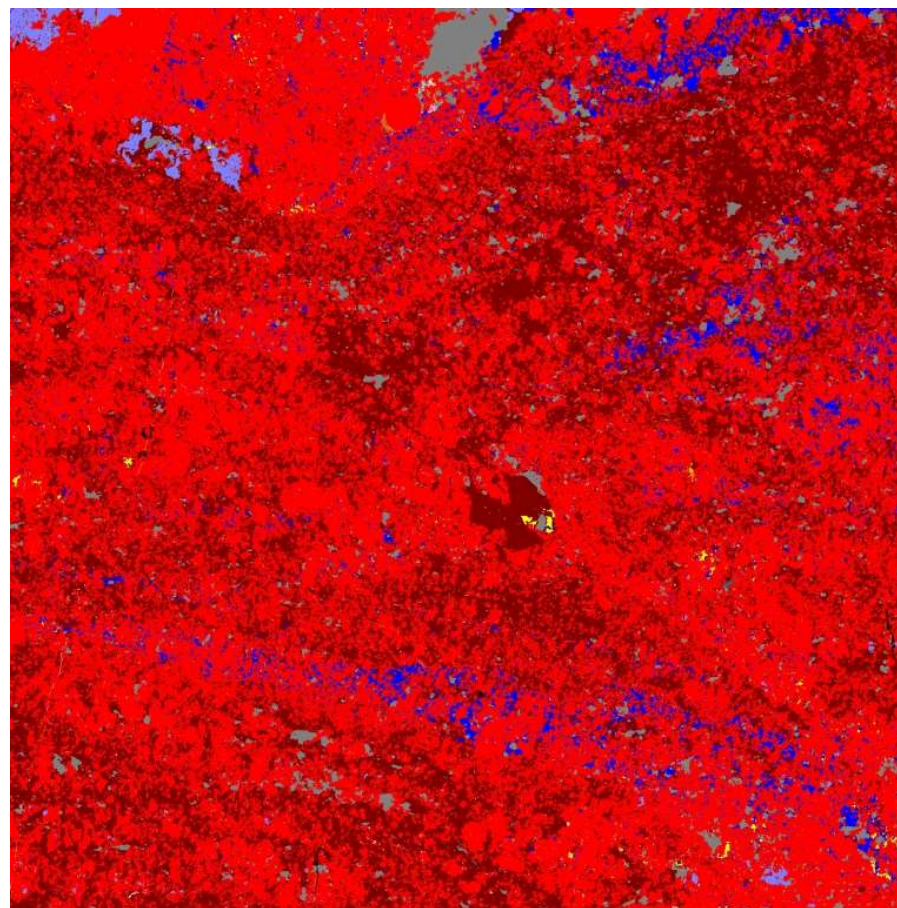
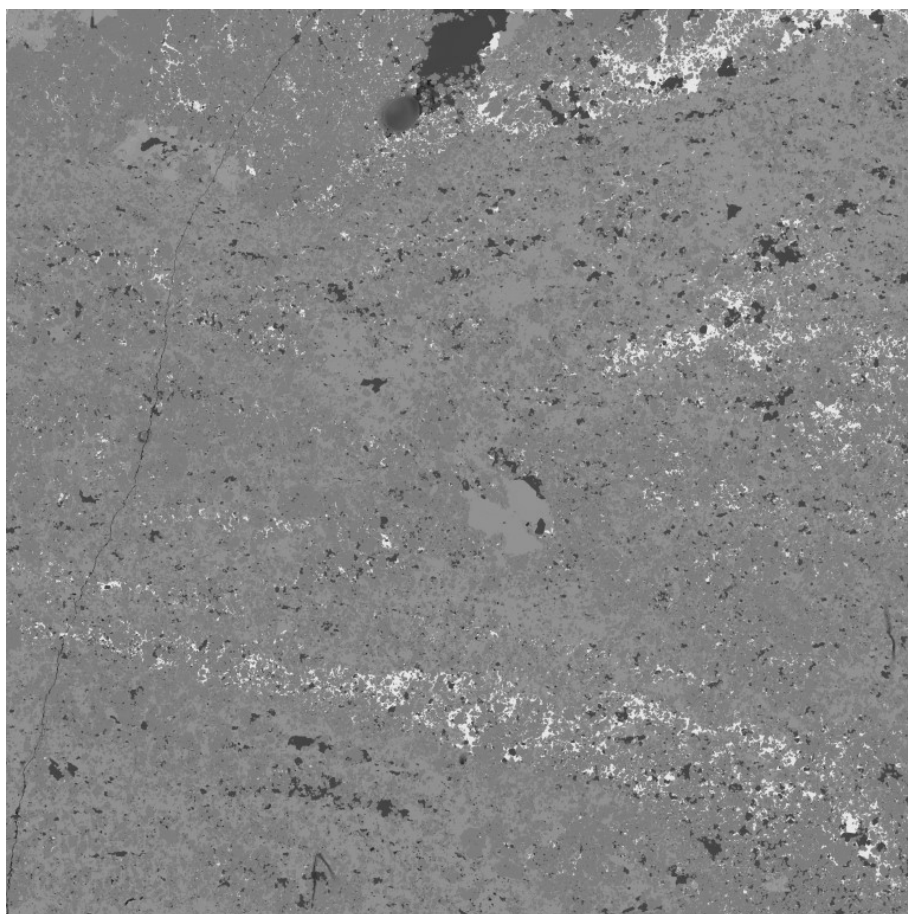
**Figura 11.5** – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13001-28, gerada por MLA através do método XBSE





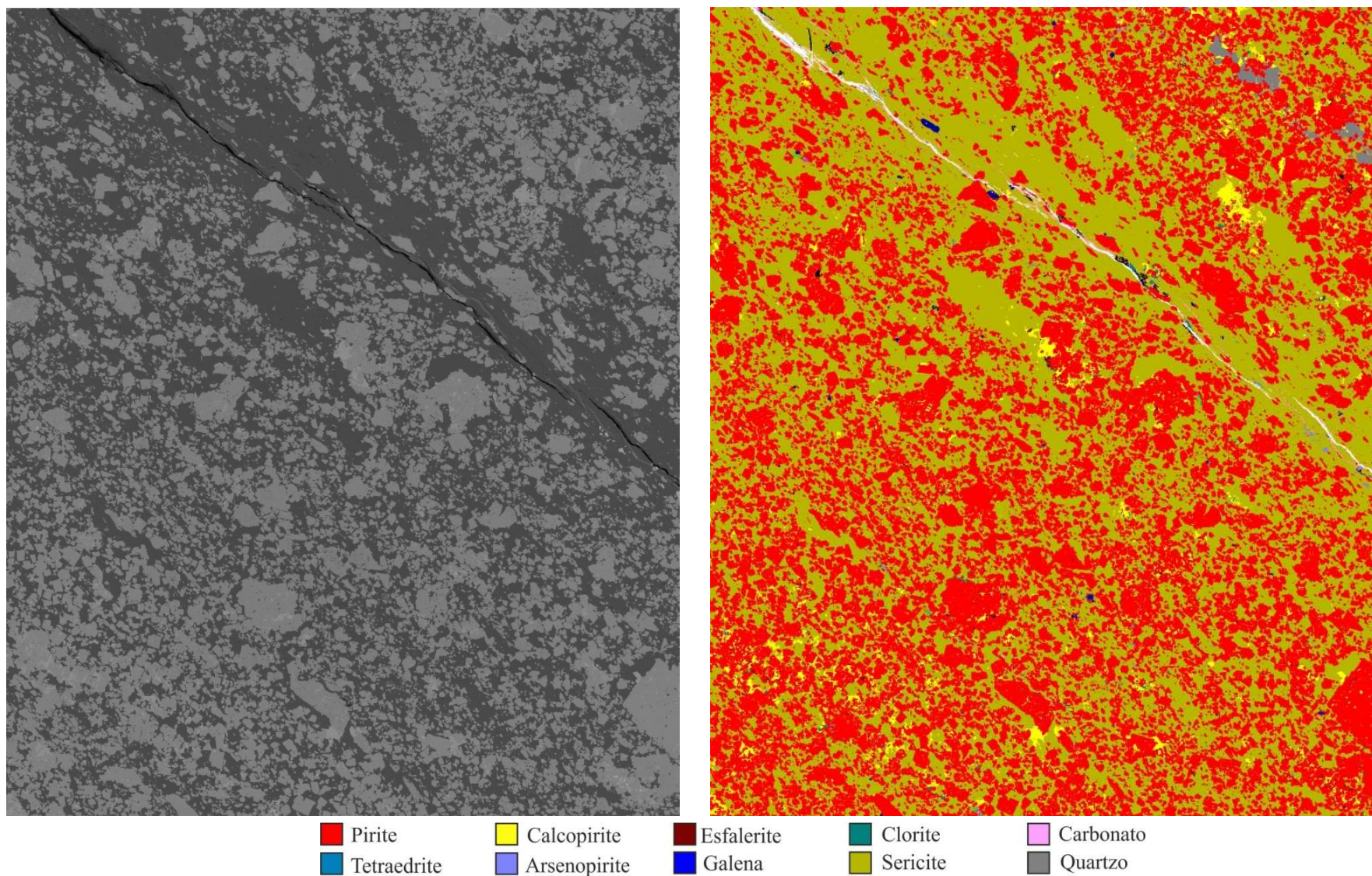
**Figura 11.6** – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13002-19, gerada por MLA através do método XBSE





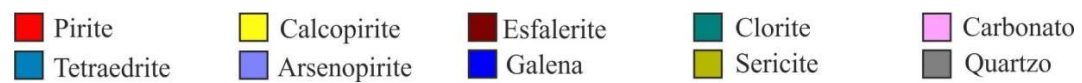
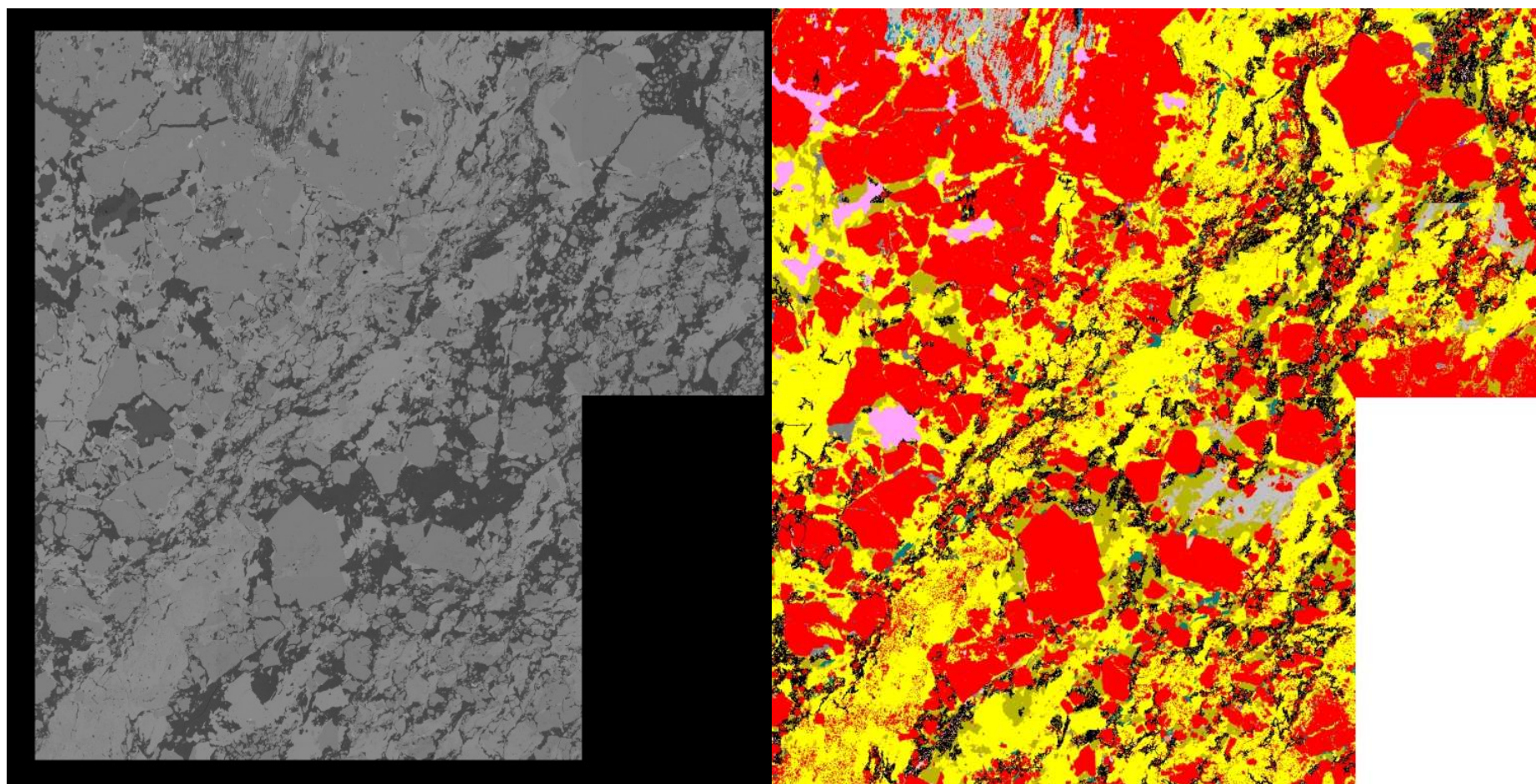
**Figura 11.7** – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13002-32, gerada por MLA através do método GMAP





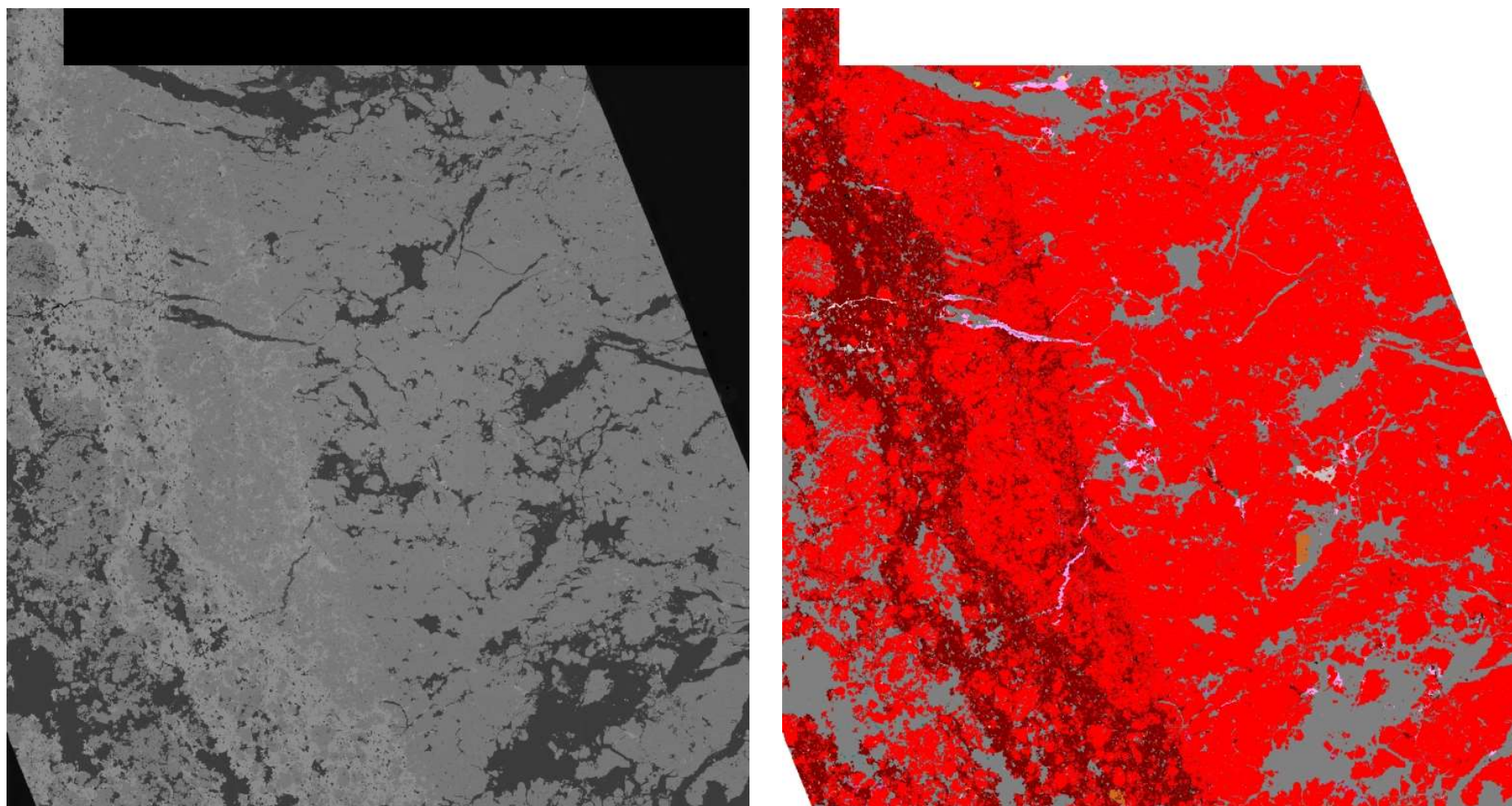
**Figura 11.8** – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13002-45, gerada por MLA através do método GXMAP





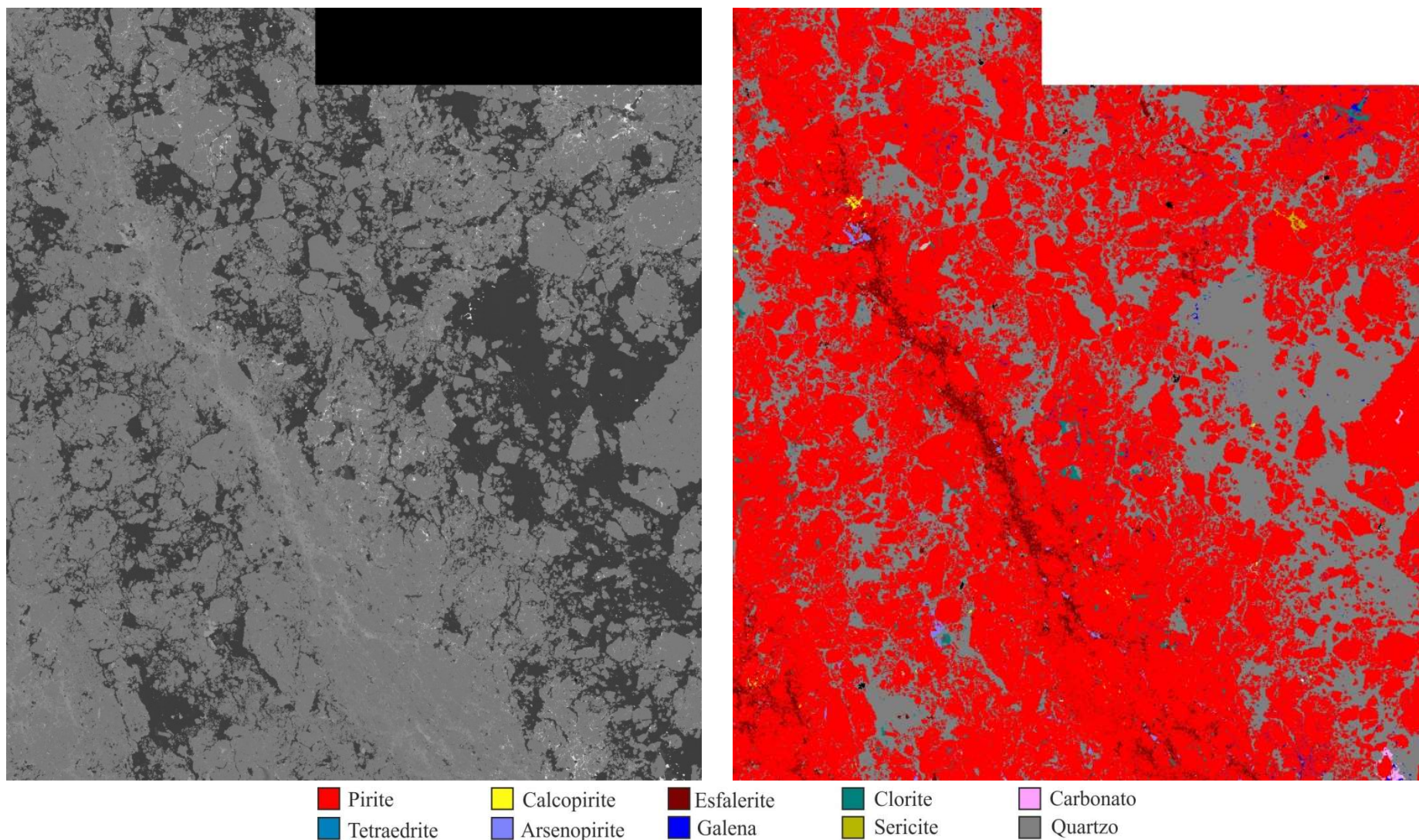
**Figura 11.9** – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES13002-56, gerada por MLA através do método GXMAP





**Figura 11.10** – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES12001-23, gerada por MLA através do método XBSE





**Figura 11.11** – Mineralogia automática: fotomicrografia de imagem de ERD e correspondente imagem digital de cores “falsas” da amostra ES12001-26, gerada por MLA através do método XBSE

## Anexo VI.2 – Dados de alocação mineral dos elementos químicos analisados

**Tabela 11.55** –Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ESI3001-18. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%

Mineral	Ag (%)	Al (%)	As (%)	Ba (%)	Bi (%)	Ca (%)	Ce (%)	Cl (%)	Cu (%)	Dy (%)	F (%)	Fe (%)	Gd (%)	H (%)	K (%)	La (%)	Mg (%)
Pirite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	82,35	-	-	-	-	-
Calcopirite	-	-	-	-	-	-	-	-	98,92	-	-	0,87	-	-	-	-	-
Esfalerite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,48	-	-	-	-	-
Galena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	100,00	-	-	-	-	-	-	-	0,90	-	-	0,01	-	-	-	-	-
Arsenopirite	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pirrotite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	-	-	-	-	-
Estanite	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Babkinite	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rutilo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortose	-	0,16	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,14	-	-
Albite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorite	-	99,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,54	-	0,79	-	-	92,52
Sericite/Muscovite	-	0,53	-	-	-	-	-	-	-	-	98,74	-	-	99,08	72,86	-	-
Zircao	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	-	-	-	-	98,38	-	-	-	-	-	0,31	-	-	-	-	3,99
Dolomite	-	-	-	-	-	0,14	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	0,51
Siderite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	0,10
Ankerite	-	-	-	-	-	1,48	-	-	-	-	-	0,23	-	-	-	-	2,87
Parisite (Ce)	-	-	-	-	-	-	1,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apatite	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	1,26	-	-	0,13	-	-	-
Monazite-(Ce)	-	-	-	-	-	-	98,44	-	-	-	-	-	32,10	-	-	100,00	-
Xenotime-(Y)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	67,90	-	-	-	-
Unknown	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	1,07	100,00	100,00	16,32	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99

**Tabela 11.56** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-18. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.)

Mineral	Mn (%)	Na (%)	Nd (%)	O (%)	P (%)	Pb (%)	S (%)	Sb (%)	Se (%)	Si (%)	Sm (%)	Sn (%)	Ta (%)	Ti (%)	W (%)	Y (%)	Zn (%)	Zr (%)
Pirite	-	-	-	-	-	-	92,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcopirite	-	-	-	-	-	-	0,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esfalerite	-	-	-	-	-	-	6,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,92	-
Galena	-	-	-	-	-	0,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	-	-	-	-	-	-	0,01	79,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Arsenopirite	-	-	-	-	-	-	-	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pirrotite	-	-	-	-	-	-	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estanite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,29	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	-	-	-	2,28	-	20,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	-	-	97,26	-	-	99,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Babkinite	-	-	-	-	-	0,22	-	-	0,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	95,71	100,00	-	-	-	-	-
Rutilo	-	-	-	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-
Quartzo	-	-	-	10,54	-	-	-	-	-	52,03	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortose	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-
Albite	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorite	-	-	-	36,46	-	-	-	-	-	47,49	-	-	-	-	-	-	-	-
Sericite/Muscovite	-	-	-	0,18	-	-	-	-	-	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-
Zircão	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	100
Calcite	95,18	-	-	51,42	-	-	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dolomite	0,22	-	-	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	0,26	-	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankerite	4,34	-	-	1,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08
Parisite (Ce)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14	-	-
Apatite	-	-	-	-	6,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Monazite-(Ce)	-	-	100,00	-	45,70	-	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-
Xenotima-(Y)	-	-	-	0,01	47,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,86	-	-
Unknown	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	-
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,01	100,00	99,76	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	100,09

**Tabela 11.57** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-21. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%

<b>Mineral</b>	<b>Al (%)</b>	<b>Ba (%)</b>	<b>Ca (%)</b>	<b>Ce (%)</b>	<b>Cu (%)</b>	<b>Dy (%)</b>	<b>Fe (%)</b>	<b>Gd (%)</b>	<b>H (%)</b>	<b>K (%)</b>	<b>La (%)</b>	<b>Mg (%)</b>
<b>Pirite</b>	-	-	-	-	-	-	62,91	-	-	-	-	-
<b>Calcopirite</b>	-	-	-	-	100,00	-	0,04	-	-	-	-	-
<b>Rutilo</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Quartzo</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ortose</b>	0,99	100,00	-	-	-	-	-	-	-	1,46	-	-
<b>Albite</b>	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Clorite</b>	22,47	-	-	-	-	-	35,45	-	0,74	-	-	97,57
<b>Sericite/Muscovite</b>	76,51	-	-	-	-	-	-	-	99,27	98,54	-	0,00
<b>Zircão</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Calcite</b>	-	-	89,41	-	-	-	0,17	-	-	-	-	0,32
<b>Dolomite</b>	-	-	2,17	-	-	-	0,12	-	-	-	-	0,70
<b>Ankerite</b>	-	-	8,39	-	-	-	1,29	-	-	-	-	1,41
<b>Bastnasite (Ce)</b>	-	-	-	0,53	-	-	-	-	-	-	0,55	-
<b>Parisite (Ce)</b>	-	-	0,01	8,99	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Apatite</b>	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Monazite-(Ce)</b>	-	-	-	90,48	-	-	-	20,62	-	-	99,45	-
<b>Xenotima-(Y)</b>	-	-	-	-	-	100,00	-	79,38	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	99,99	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	99,98	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00

**Tabela 11.58** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-21. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.)

Mineral	Mn (%)	Na (%)	Nd (%)	O (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Sm (%)	Ti (%)	Y (%)	Zn (%)	Zr (%)
Pirite	-	-	-	-	-	99,93	-	-	-	-	-	-
Calcopirite	-	-	-	-	-	0,06	-	-	-	-	-	-
Rutilo	-	-	-	0,08	-	-	-	-	100,00	-	-	-
Quartzo	-	-	-	5,22	-	-	14,63	-	-	-	-	-
Ortose	-	-	-	0,63	-	-	0,96	-	-	-	-	-
Albite	-	100,00	-	0,03	-	-	0,05	-	-	-	-	-
Clorite	-	-	-	24,26	-	-	19,83	-	-	-	-	-
Sericite/Muscovite	-	-	-	61,59	-	-	64,51	-	-	-	-	-
Zircão	-	-	-	0,01	-	-	0,01	-	-	-	-	100,00
Calcite	76,09	-	-	7,01	-	0,01	-	-	-	-	-	-
Dolomite	2,96	-	-	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankerite	20,95	-	-	0,90	-	-	-	-	-	-	100,00	-
Bastnasite (Ce)	-	-	0,74	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Parisite (Ce)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50	-	-
Apatite	-	-	-	-	2,34	-	-	-	-	-	-	-
Monazite-(Ce)	-	-	99,26	-	33,82	-	-	100,00	-	-	-	-
Xenotima-(Y)	-	-	-	0,01	63,85	-	-	-	-	99,50	-	-
TOTAL	100,00	100,00	100,00	99,98	100,01	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

**Tabela 11.59** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-25. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%

Mineral	Ag (%)	Al (%)	As (%)	Ba (%)	Ca (%)	Ce (%)	Cl (%)	Co (%)	Cu (%)	Dy (%)	F (%)	Fe (%)	Gd (%)	H (%)	K (%)	La (%)
Pirite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44,13	-	-	-	-
Calcopirite	-	-	-	-	-	-	-	-	20,34	-	-	-	-	-	-	-
Esfalerite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	-	-	-	-
Galena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	100,00	-	7,25	-	-	-	-	-	70,89	-	-	-	-	-	-	-
Arsenopirite	-	-	92,73	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-
Pirrotite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-
Estanite	-	-	-	-	-	-	-	-	8,76	-	-	-	-	-	-	-
Alloclasite	-	-	0,02	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-
Bournonite	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rutilo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortose	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64,87	-
Clorite	-	99,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55,78	-	98,06	-	-
Sericite/Muscovite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	-	-	0,01	35,13	-
Zircao	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	-	-	-	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dolomite	-	-	-	-	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankerite	-	-	-	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apatite	-	-	-	-	98,55	-	100,00	-	-	-	99,94	-	-	1,92	-	-
Monazite-(Ce)	-	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	7,01	-	-	100,00
Xenotima-(Y)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	92,99	-	-	-
TOTAL	100,00	99,99	100,00	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00	100,01	100,00	100,00	99,97	100,00	99,99	100,00	100,00



**Tabela 11.60** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-25. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.)

Mineral	Mg (%)	Mn (%)	Nd (%)	O (%)	P (%)	Pb (%)	S (%)	Sb (%)	Se (%)	Si (%)	Sm (%)	Sn (%)	Ti (%)	Y (%)	Zn (%)	Zr (%)
Pirite	-	-	-	-	-	-	98,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcopirite	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esfalerite	-	-	-	-	-	-	1,14	-	-	-	-	-	-	-	99,85	-
Galena	-	-	-	-	-	99,80	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	-	-	-	-	-	-	0,02	99,13	-	-	-	-	-	-	0,13	-
Arsenopirite	-	-	-	-	-	-	0,01	0,56	-	-	-	-	-	-	-	-
Pirrotite	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estanite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	94,73	-	-	0,01	-
Alloclasite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	-	-	-	0,12	-	0,28	-	-	-	-	-	-	-	-
Bournonite	-	-	-	-	-	0,01	-	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	-	-	0,07	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,27	-	-	-	-
Rutilo	-	-	-	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	-
Quartzo	-	-	-	0,47	-	-	-	-	-	1,57	-	-	-	-	-	-
Ortose	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorite	100,00	-	-	98,94	-	-	-	-	-	98,42	-	-	-	-	-	-
Sericite/Muscovite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zircao	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	100,00
Calcite	-	24,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dolomite	-	14,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	-	45,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankerite	-	15,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apatite	-	-	-	0,31	70,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Monazite-(Ce)	-	-	100,00	0,01	3,93	-	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-
Xenotima-(Y)	-	-	-	0,06	25,56	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	0,00	-
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,98	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00

**Tabela 11.61** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-28. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%

Mineral	Ag (%)	Al (%)	As (%)	Bi (%)	Ca (%)	Ce (%)	Cl (%)	Co (%)	Cu (%)	Dy (%)	F (%)	Fe (%)	Gd (%)	H (%)	K (%)	La (%)	Mg (%)
Pirite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,69	-	-	-	-	-
Calcopirite	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	19,17	-	-	-	-	-
Esfalerite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Galena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arsenopirite	-	-	99,29	-	-	-	-	-	-	-	-	8,97	-	-	-	-	-
Pirrotite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-
Estanite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alloclasite	-	-	0,71	-	-	-	-	100,00	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Babkinite	-	-	-	15,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Guanajuatite	-	-	-	59,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bismutinite	-	-	-	17,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bismuto	-	-	-	6,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rutilo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Albite	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorite	-	98,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50,12	-	6,53	-	-	99,94
Sericite/Muscovite	-	1,57	-	-	-	-	-	-	-	-	98,73	-	-	93,40	100,00	-	-
Zircão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	-	-	-	11,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dolomite	-	-	-	-	9,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02
Siderite	-	-	-	-	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankerite	-	-	-	-	28,20	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	0,03
Bastnasite (Ce)	-	-	-	-	0,60	21,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61,89	-
Parisite (Ce)	-	-	-	-	41,00	66,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorite	-	-	-	-	0,19	-	-	-	-	-	0,53	-	-	-	-	-	-
Apatite	-	-	-	-	7,89	-	100,00	-	-	-	0,74	-	-	0,07	-	-	-
Monazite-(Ce)	-	-	-	-	-	12,47	-	-	-	-	-	-	21,50	-	-	38,11	-
Xenotima-(Y)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	78,50	-	-	-	-
TOTAL	100,00	99,98	100,00	100,01	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,98	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99

**Tabela 11.62** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-28. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.)

Mineral	Mn (%)	Na (%)	Nd (%)	O (%)	P (%)	Pb (%)	S (%)	Sb (%)	Se (%)	Si (%)	Sm (%)	Sn (%)	Ti (%)	Y (%)	Zn (%)	Zr (%)
Pirite	-	-	-	-	-	-	47,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcopirite	-	-	-	-	-	-	41,07	-	-	-	-	0,00	-	-	-	-
Esfalerite	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	97,59	-
Galena	-	-	-	-	-	5,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetradrite	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	0,01	-
Arsenopirite	-	-	-	-	-	-	11,09	99,97	-	-	-	-	-	-	-	-
Pirrotite	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estanite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,79	-	-	0,01	-
Alloclasite	-	-	-	-	-	-	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	-	-	-	0,93	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	-	-	0,79	-	-	0,15	-	-	-	-	-	-	-
Babkinite	-	-	-	-	-	92,95	-	-	27,76	-	-	-	-	-	-	-
Guanajuatite	-	-	-	-	-	-	-	-	72,09	-	-	-	-	-	-	-
Bismutinite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bismuto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96,21	-	-	-	-
Rutilo	-	-	-	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	-
Quartzo	-	-	-	28,06	-	-	-	-	-	59,60	-	-	-	-	-	-
Albite	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorite	-	-	-	70,68	-	-	-	-	-	39,51	-	-	-	-	-	-
Sericite/Muscovite	-	-	-	1,11	-	-	-	-	-	0,88	-	-	-	-	-	-
Zircão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00
Calcite	10,04	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dolomite	14,34	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	1,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankerite	74,35	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,39	-
Bastnasite (Ce)	-	-	68,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Parisite (Ce)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,98	-	-
Fluorite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apatite	-	-	-	0,01	18,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Monazite-(Ce)	-	-	31,50	-	29,24	-	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-
Xenotima-(Y)	-	-	-	0,01	52,37	-	-	-	-	-	-	-	-	78,02	-	-
TOTAL	99,99	100,00	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

**Tabela 11.63** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13002-19. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%

Mineral	Ag (%)	Al (%)	As (%)	Ba (%)	Bi (%)	Ca (%)	Cl (%)	Cu (%)	F (%)	Fe (%)	H (%)	K (%)	Mg (%)
Pirite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,22	-	-	-
Calcopirite	-	-	-	-	-	-	-	9,71	-	0,02	-	-	-
Esfalerite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	-	-	-
Galena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetradrite	100,00	-	1,96	-	-	-	-	88,73	-	0,04	-	-	-
Arsenopirite	-	-	98,04	-	-	-	-	-	-	0,31	-	-	-
Pirrotite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-
Estanite	-	-	-	-	-	-	-	1,48	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-
Bournonite	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Babkinite	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortose	-	7,72	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-
Albite	-	10,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sericite	-	81,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	-	-	-	-	99,99	-	-	-	0,26	-	-	99,94
Siderite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Ankerite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05
Fluorite	-	-	-	-	-	-	-	-	98,85	-	-	-	-
Apatite	-	-	-	-	-	-	100,00	-	1,15	-	100,00	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>99,99</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

**Tabela 11.64** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13002-19. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.)

Mineral	Mn (%)	Na (%)	O (%)	P (%)	Pb (%)	S (%)	Sb (%)	Se (%)	Si (%)	Sn (%)	Ta (%)	Zn (%)
<b>Pirite</b>	-	-	-	-	-	98,36	-	-	-	-	-	-
<b>Calcopirite</b>	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-
<b>Esfalerite</b>	-	-	-	-	-	1,23	-	-	-	-	-	99,44
<b>Galeña</b>	-	-	-	-	98,62	0,05	-	-	-	-	-	-
<b>Tetraedrite</b>	-	-	-	-	-	0,12	97,08	-	-	-	-	0,55
<b>Arsenopirite</b>	-	-	-	-	-	0,17	1,58	-	-	-	-	-
<b>Pirrotite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Estanite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,10	-	0,01
<b>Meneghinite</b>	-	-	-	-	1,30	-	1,27	-	-	-	-	-
<b>Bournonite</b>	-	-	-	-	0,05	-	0,07	-	-	-	-	-
<b>Clausthalite</b>	-	-	-	-	0,02	-	-	51,03	-	-	-	-
<b>Babkinite</b>	-	-	-	-	0,01	-	-	48,97	0,06	-	-	-
<b>Cassiterite</b>	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	85,90	100,00	-
<b>Quartzo</b>	-	-	0,04	-	-	-	-	-	91,25	-	-	-
<b>Ortose</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	1,18	-	-	-
<b>Albite</b>	-	100,00	-	-	-	-	-	-	1,57	-	-	-
<b>Sericite</b>	-	-	0,01	-	-	-	-	-	5,94	-	-	-
<b>Calcite</b>	100,00	-	99,94	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-
<b>Siderite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ankerite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Fluorite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Apatite</b>	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

**Tabela 11.65** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13002-32. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%

<b>Mineral</b>	<b>Ag (%)</b>	<b>Al (%)</b>	<b>As (%)</b>	<b>Ba (%)</b>	<b>Bi (%)</b>	<b>Ca (%)</b>	<b>Co (%)</b>	<b>Cu (%)</b>	<b>Fe (%)</b>	<b>H (%)</b>	<b>K (%)</b>	<b>Mg (%)</b>	<b>Mn (%)</b>
<b>Pirite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	94,24	-	-	-	-
<b>Calcopirite</b>	-	-	-	-	-	-	-	99,75	0,17	-	-	-	-
<b>Esfalerite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	4,02	-	-	-	-
<b>Galena</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tetraedrite</b>	100,00	-	-	-	-	-	-	0,17	-	-	-	-	-
<b>Arsenopirite</b>	-	-	100,00	-	-	-	-	-	1,00	-	-	-	-
<b>Pirrotite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52	-	-	-	-
<b>Estanite</b>	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-	-	-	-
<b>Alloclasite</b>	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-
<b>Meneghinite</b>	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-	-	-	-
<b>Bournonite</b>	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-
<b>Clausthalite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Babkinite</b>	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cassiterite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Quartzo</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ortose</b>	-	19,82	-	100,00	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-
<b>Clorite</b>	-	61,06	-	-	-	-	-	-	0,02	100,00	-	18,77	-
<b>Sericite/Muscovite</b>	-	19,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Calcite</b>	-	-	-	-	-	29,56	-	-	-	-	-	0,01	0,34
<b>Siderite</b>	-	-	-	-	-	70,44	-	-	0,02	-	-	14,93	99,56
<b>Unknown</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	66,29	0,10
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>99,99</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

**Tabela 11.66** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13002-32. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.)

Mineral	Nb (%)	O (%)	Pb (%)	S (%)	Sb (%)	Se (%)	Si (%)	Sn (%)	Ta (%)	Ti (%)	W (%)	Zn (%)
Pirite	-	-	-	76,49	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcopirite	-	-	-	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-
Esfalerite	-	-	-	21,05	-	-	-	-	-	-	-	100,00
Galena	-	-	99,96	1,65	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	-	-	-	-	3,35	-	-	-	-	-	-	-
Arsenopirite	-	-	-	0,45	84,43	-	-	-	-	-	-	-
Pirrotite	-	-	-	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-
Estanite	-	-	-	-	-	-	-	0,06	-	-	-	-
Alloclasite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	0,02	-	11,89	-	-	-	-	-	-	-
Bournonite	-	-	-	-	0,34	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	0,01	-	-	38,68	-	-	-	-	-	-
Babkinite	-	-	0,01	-	-	61,32	0,01	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	0,55	-	-	-	-	-	99,93	74,90	-	-	-
Quartzo	-	97,42	-	-	-	-	99,28	-	-	-	-	-
Ortose	-	0,11	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-
Clorite	-	0,49	-	-	-	-	0,13	-	-	-	-	-
Sericite/Muscovite	-	0,10	-	-	-	-	0,03	-	-	-	-	-
Calcite	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	-	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Unknown	100,00	1,00	-	-	-	-	0,50	0,01	25,10	100,00	100,00	-
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>99,99</b>	<b>100,00</b>	<b>99,98</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>



**Tabela 11.67** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-45. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%

Mineral	Ag (%)	Al (%)	As (%)	Bi (%)	Ca (%)	Ce (%)	Cl (%)	Co (%)	Cu (%)	Dy (%)	F (%)	Fe (%)	Gd (%)	H (%)	K (%)	La (%)	Mg (%)
Pirite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96,40	-	-	-	-	-
Calcopirite	-	-	-	-	-	-	-	-	99,44	-	-	2,82	-	-	-	-	-
Esfalerite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-
Galena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	100,00	-	0,47	-	-	-	-	-	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-
Arsenopirite	-	-	99,51	-	-	-	-	-	-	-	-	0,10	-	-	-	-	-
Pirrotite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	-	-	-	-	-
Estanite	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-
Alloclasite	-	-	0,02	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bournonite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Babkinite	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rutilo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Albite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorite	-	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	-	-	-	-	54,47
Sericite/Muscovite	-	99,74	-	-	-	-	-	-	-	-	99,71	0,00	-	99,97	100,00	-	-
Zircao	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	-	-	-	0,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	-	-	-	-	5,60	-	-	-	-	-	-	0,26	-	-	-	-	45,53
Bastnasite (Ce)	-	-	-	-	0,49	30,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-
Parisite (Ce)	-	-	-	-	24,11	69,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apatite	-	-	-	-	69,18	-	100,00	-	-	-	0,29	-	-	0,03	-	-	-
Xenotima-(Y)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	100,00	-	-	-	-
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

**Tabela 11.68** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-45. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.)

Mineral	Mn (%)	Na (%)	Nd (%)	O (%)	P (%)	Pb (%)	S (%)	Sb (%)	Se (%)	Si (%)	Sn (%)	Ta (%)	Ti (%)	Y (%)	Zn (%)	Zr (%)
Pirite	-	-	-	-	-	-	96,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcopirite	-	-	-	-	-	-	2,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esfalerite	-	-	-	-	-	-	0,15	-	-	-	-	-	-	-	99,54	-
Galena	-	-	-	-	-	92,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetradrite	-	-	-	-	-	-	0,01	91,47	-	-	-	-	-	-	0,43	-
Arsenopirite	-	-	-	-	-	-	0,06	5,15	-	-	-	-	-	-	-	-
Pirrotite	-	-	-	-	-	-	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estanite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,92	-	-	-	0,03	-
Alloclasite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	-	-	-	3,96	-	2,43	-	-	-	-	-	-	-	-
Bournonite	-	-	-	-	-	0,91	-	0,94	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	-	-	0,63	-	-	19,99	-	-	-	-	-	-	-
Babkinite	-	-	-	-	-	1,56	-	-	80,01	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	96,08	100,00	-	-	-	-
Rutilo	-	-	-	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	-
Quartzo	-	-	-	0,67	-	-	-	-	-	1,75	-	-	-	-	-	-
Albite	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorite	-	-	-	0,26	-	-	-	-	-	0,18	-	-	-	-	-	-
Sericite/Muscovite	-	-	-	98,38	-	-	-	-	-	98,06	-	-	-	-	-	-
Zircão	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	100,00
Calcite	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	99,95	-	-	0,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bastnasite (Ce)	-	-	100,00	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Parisite (Ce)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34,71	-	-
Apatite	-	-	-	0,17	90,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Xenotima-(Y)	-	-	-	0,01	9,19	-	-	-	-	-	-	-	-	65,29	-	-
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

**Tabela 11.69** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-56. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%

Mineral	Ag (%)	Al (%)	As (%)	Ca (%)	Ce (%)	Cl (%)	Cu (%)	Dy (%)	F (%)	Fe (%)	Gd (%)	H (%)	La (%)
<b>Pirite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	68,32	-	-	-
<b>Calcopirite</b>	-	-	-	-	-	-	99,12	-	-	31,08	-	-	-
<b>Esfalerite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-
<b>Tetraedrite</b>	100,00	-	100,00	-	-	-	0,88	-	-	0,10	-	-	-
<b>Pirrotite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-	-	-
<b>Rutilo</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Quartzo</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Albite</b>	-	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Clorite</b>	-	4,19	-	-	-	-	-	-	-	0,41	-	0,07	-
<b>Sericite</b>	-	95,71	-	-	-	-	-	-	99,97	-	-	99,93	-
<b>Calcite</b>	-	-	-	99,88	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-
<b>Apatite</b>	-	-	-	0,11	-	100,00	-	-	0,03	-	-	-	-
<b>Monazite-(Ce)</b>	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	49,84	-	100,00
<b>Xenotima-(Y)</b>	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	50,16	-	-
<b>TOTAL</b>	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00

**Tabela 11.70** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES13001-56. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.)

Mineral	Mg (%)	Mn (%)	Na (%)	Nd (%)	O (%)	P (%)	S (%)	Sb (%)	Si (%)	Sm (%)	Ti (%)	Y (%)	Zn (%)
<b>Pirite</b>	-	-	-	-	-	-	69,05	-	-	-	-	-	-
<b>Calcopirite</b>	-	-	-	-	-	-	30,58	-	-	-	-	-	-
<b>Esfalerite</b>	-	-	-	-	-	-	0,09	-	-	-	-	-	86,96
<b>Tetraedrite</b>	-	-	-	-	-	-	0,24	100,00	-	-	-	-	13,04
<b>Pirrotite</b>	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-
<b>Rutilo</b>	-	-	-	-	0,31	-	-	-	-	-	100,00	-	-
<b>Quartzo</b>	-	-	-	-	16,93	-	-	-	37,58	-	-	-	-
<b>Albite</b>	-	-	100,00	-	0,11	-	-	-	0,17	-	-	-	-
<b>Clorite</b>	96,83	-	-	-	3,87	-	-	-	2,39	-	-	-	-
<b>Sericite</b>	-	-	-	-	70,13	-	-	-	59,85	-	-	-	-
<b>Calcite</b>	3,17	100,00	-	-	8,47	-	<b>0,01</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Apatite</b>	-	-	-	-	0,01	3,36	-	-	-	-	-	-	-
<b>Monazite-(Ce)</b>	-	-	-	100,00	0,10	64,70	-	-	-	100,00	-	-	-
<b>Xenotima-(Y)</b>	-	-	-	-	0,06	31,94	-	-	-	-	-	100,00	-
<b>TOTAL</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	99,99	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00

**Tabela 11.71** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES12001-23. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%

Mineral	Ag (%)	Al (%)	As (%)	Ba (%)	Bi (%)	Ca (%)	Ce (%)	Cl (%)	Cu (%)	Dy (%)	F (%)	Fe (%)	Gd (%)	H (%)	K (%)	La (%)	Mg (%)	Mn (%)
Pirite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,26	-	-	-	-	-	-
Calcopirite	-	-	-	-	-	-	-	-	8,55	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-
Esfalerite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,77	-	-	-	-	-	-
Galena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	100,00	-	0,75	-	-	-	-	-	91,44	-	-	0,03	-	-	-	-	-	-
Arsenopirite	-	-	99,25	-	-	-	-	-	-	-	-	0,66	-	-	-	-	-	-
Pirrotite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bournonite	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Babkinite	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rutilo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manganotapiolite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02
Quartzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortose	-	14,56	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56,18	-	-	-
Albite	-	4,43	-	-	-	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorite	-	52,74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	-	11,96	-	-	97,36	-
Sericite/Muscovite	-	28,27	-	-	-	-	-	-	-	-	8,04	-	-	85,22	43,83	-	-	-
Calcite	-	-	-	-	-	97,49	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	2,57	99,92
Siderite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,05
Ankerite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Parisite (Ce)	-	-	-	-	-	0,14	84,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bastnasite (Ce)	-	-	-	-	-	-	15,11	-	-	-	-	-	-	-	-	95,46	-	-
Fluorite	-	-	-	-	-	1,21	-	-	-	-	89,35	-	-	-	-	-	-	-
Apatite	-	-	-	-	-	1,06	-	100,00	-	-	2,60	-	-	2,82	-	-	-	-
Monazite-(Ce)	-	-	-	-	-	-	0,68	-	-	-	-	-	0,33	-	-	4,54	-	-
Xenotima-(Y)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	99,67	-	-	-	-	-
Unknown	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>99,99</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>99,99</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>99,99</b>	<b>100,00</b>

**Tabela 11.72** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES12001-23. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt% (cont.)

Mineral	Na (%)	Nb (%)	Nd (%)	O (%)	P (%)	Pb (%)	S (%)	Sb (%)	Se (%)	Si (%)	Sm (%)	Sn (%)	Ta (%)	Ti (%)	W (%)	Y (%)	Zn (%)
Pirite	-	-	-	-	-	-	89,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcopirite	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esfalerite	-	-	-	-	-	-	10,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,95
Galena	-	-	-	-	-	98,77	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetradrite	-	-	-	-	-	-	0,09	95,82	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05
Arsenopirite	-	-	-	-	-	-	0,34	4,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pirrotite	-	-	-	-	-	-	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	-	-	-	0,59	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bournonite	-	-	-	-	-	0,32	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	-	-	0,03	-	-	6,72	-	-	-	-	-	-	-	-
Babkinite	-	-	-	-	-	0,28	-	-	93,28	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	100,00	78,89	-	-	-	-
Rutilo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	100,00	-	-	-
Manganotapiolite	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,11	-	100,00	-	-
Quartzo	-	-	-	95,59	-	-	-	-	-	99,43	-	-	-	-	-	-	-
Ortose	-	-	-	0,15	-	-	-	-	-	0,09	-	-	-	-	-	-	-
Albite	100,00	-	-	0,07	-	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-
Clorite	-	-	-	1,03	-	-	-	-	-	0,32	-	-	-	-	-	-	-
Sericite/Muscovite	-	-	-	0,30	-	-	-	-	-	0,10	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	-	-	2,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankerite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Parisite (Ce)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bastnasite (Ce)	-	-	96,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apatite	-	-	-	0,03	79,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Monazite-(Ce)	-	-	3,43	-	0,14	-	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-
Xenotime-(Y)	-	-	-	0,01	20,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92,60	-
Unknown	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	99,99	100,01	99,99	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	92,60	100,00

**Tabela 11.73** – Alocação de elementos químicos pelas diferentes fases minerais identificadas na amostra ES12001-26. Valores percentuais estimados iguais ou superiores a 0,01wt%

Mineral	Al (%)	As (%)	Ca (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mg (%)	Mn (%)	O (%)	Pb (%)	S (%)	Sb (%)	Si (%)	Sn (%)	Zn (%)
<b>Pirite</b>	-	-	-	-	99,02	-	-	-	-	97,29	-	-	-	-
<b>Calcopirite</b>	-	-	-	35,18	0,06	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-
<b>Esfalerite</b>	-	-	-	-	0,21	-	-	-	-	1,93	-	-	-	99,74
<b>Galena</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	99,97	0,38	-	-	-	-
<b>Tetradrite</b>	-	0,98	-	64,79	0,03	-	-	-	-	0,08	96,45	-	-	0,26
<b>Arsenopirite</b>	-	99,02	-	-	0,46	-	-	-	-	0,26	3,28	-	-	-
<b>Meneghinite</b>	-	-	-	0,01	-	-	-	-	0,02	-	0,19	-	-	-
<b>Bournonite</b>	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	0,08	-	-	-
<b>Cassiterite</b>	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	100,00	-
<b>Quartzo</b>	-	-	-	-	-	-	-	97,16	-	-	-	99,17	-	-
<b>Ortose</b>	0,68	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	0,01	-	-
<b>Clorite</b>	92,20	-	-	-	0,20	99,93	-	2,50	-	-	-	0,78	-	-
<b>Sericite/Muscovite</b>	7,12	-	-	-	-	-	-	0,12	-	-	-	0,05	-	-
<b>Calcite</b>	-	-	99,80	-	-	0,07	99,39	0,17	-	-	-	-	-	-
<b>Siderite</b>	-	-	0,03	-	-	-	0,13	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ankerite</b>	-	-	0,16	-	-	0,01	0,48	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>99,99</b>	<b>100,00</b>	<b>99,98</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>99,98</b>	<b>99,99</b>	<b>99,99</b>	<b>100,00</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>



## Anexo VI.3 – Dados de análise de libertação mineral

**Tabela 11.74** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13001-18, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite

Mineral	Calcopirite	Estanite	Tetraedrite	Galena	Pirite	Pirrotite	Esfalerite	Arsenopirite	Meneghinite	Clausthalite	Babkinite	Cassiterite	Siderite	Ankerite
Calcopirite	-	0,11	0,8	-	64,89	0,47	10,17	-	-	2,61	0,01	0,12	2,44	0,01
Estanite	19,05	-	-	-	32,14	-	20,18	-	-	0,59	-	3,22	0,84	-
Tetraedrite	27,89	-	-	-	3,68	-	1,41	-	-	0,9	-	-	0,35	-
Galena	-	-	-	-	96,21	-	3,79	-	-	-	-	-	-	-
Pirite	8,37	0,02	0,01	0,01	-	2,47	18,97	0,02	0,03	6	-	0,07	4,88	0,04
Pirrotite	2,25	-	-	-	91,81	-	0,69	-	-	0,39	-	0,01	0,2	-
Esfalerite	2,58	0,03	0,01	-	37,36	0,04	-	0,01	-	1,97	-	0,06	2,32	0,09
Arsenopirite	1,32	-	-	-	40,40	-	8,16	-	-	1,75	-	-	3,32	-
Meneghinite	-	-	-	-	31,9	-	1,1	-	-	2,97	-	-	-	-
Clausthalite	3,18	-	0,03	-	56,5	0,1	9,41	0,01	0,03	-	-	0,06	0,98	0,05
Babkinite	11,79	-	-	-	35,42	-	4,94	-	-	-	-	-	5,34	-
Cassiterite	10,12	1,56	-	-	49,77	0,19	20,71	-	-	4,6	-	-	0,32	-
Quartzo	1,07	-	-	-	16,58	0,02	4	0,01	-	0,35	-	-	-	0,12
Ortose	0,18	-	-	-	4,16	-	4,85	-	-	0,55	-	-	4,06	-
Anortite	-	-	-	-	23,11	-	-	-	-	-	-	-	7,78	-
Calcite	2,09	0,02	0,3	-	35,98	0,02	13,6	0,01	0,08	2,89	0,01	0,02	14,8	0,03
Dolomite	0,6	-	0,09	-	14,76	0,05	5,41	-	0,06	0,85	-	-	0,59	-
Siderite	3,3	-	0,19	-	43,19	2,37	30,55	-	-	2	-	-	-	-
Ankerite	0,83	0,01	0,14	-	13,75	0,03	4,8	-	0,04	1,34	-	-	0,95	-
Chamosite (Fe:Mg=3)	0,9	-	-	-	35,47	0,09	24,07	0,02	-	1,19	-	-	9,98	0,78
Chamosite (Fe=Mg)	0,11	-	-	-	3,66	-	1,35	-	-	0,1	-	-	43,68	0,05
Clinoclóro (Mg=Fe)	0,19	-	-	-	3,1	0,05	2,17	-	-	0,38	-	-	8,34	2,21
Sillimanite	-	-	-	-	4,63	1,2	0,71	-	-	-	-	-	1,4	-
Muscovite	-	-	-	-	3,14	-	3,53	-	-	-	-	-	36,14	7,87
Sericite	0,15	-	-	-	3,54	-	2,52	-	-	0,51	-	-	1,13	13,52
Monazite-(Ce)	0,58	-	-	-	36,7	-	8,74	-	-	1,19	-	-	1,92	0,85
Apatite	-	-	-	-	41,33	-	-	-	-	4,78	-	-	5,44	-
Xenotima-(Y)	0,47	-	-	-	41,33	-	5,16	-	-	-	-	-	-	-
Parisite (Ce)	-	-	-	-	11,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zircão	-	-	-	-	7,62	-	7,08	-	-	-	-	-	-	-
Rutilo	0,87	-	-	-	25,98	-	10,6	-	-	0,34	-	-	5,22	1,65
Unknown	0,09	-	0,02	-	10,65	1,08	5,06	-	-	0,36	-	-	33,02	0,08

**Tabela 11.75** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13001-18, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite (cont.)

Mineral	Fluorite	Chamosite (Fe:Mg=3)	Chamosite (Fe=Mg)	Clinoclóro (Mg=Fe)	Ferrosilite	Sericite	Monazite-(Ce)	Apatite	Parisite (Ce)	Bastnasite (Ce)	Zircão	Rutilo	Unknown
Calcopirite	-	11,81	0,07	0,05	0,66	4,78	0,07	0,01	-	-	0,02	-	-
Estanite	-	22,03	-	-	1,07	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	-	60,29	0,37	0,09	3,86	0,6	-	-	-	-	-	-	-
Galena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pirite	-	26,25	0,21	0,08	1,42	24,38	0,30	0,03	-	-	0,05	0,03	0,01
Pirrotite	-	0,52	0,03	0,16	0,1	2,32	-	0,02	0,02	-	-	-	-
Esfalerite	-	19,55	0,15	0,11	0,98	32,57	0,22	0,04	-	-	0,06	0,02	-
Arsenopirite	-	12,1	-	-	1,14	30,69	-	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	58,94	0,90	-	4,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	19,85	0,12	0,03	1,3	7,7	0,08	0,03	-	-	0,06	0,01	0,01
Babkinite	-	34,59	-	-	-	7,93	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	12,17	-	-	0,23	-	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	-	36,71	0,03	-	0,33	23,31	12,26	0,27	-	0,04	0,05	0,01	-
Ortose	-	2,04	-	-	-	59,76	0,43	2,38	-	0,29	19,44	0,09	-
Anortite	-	69,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	0,01	-	1,13	0,01	9,65	13,65	0,44	0,05	0,02	-	-	0,01	0,01
Dolomite	-	57,39	-	-	18,65	1,21	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	-	3,15	-	-	10,06	4,72	-	0,27	-	-	-	-	-
Ankerite	-	68,16	2,6	0,18	-	6,23	0,06	0,01	0,01	-	-	0,02	-
Chamosite (Fe:Mg=3)	-	14,49	0,03	0,01	0,94	-	5,51	1	0,02	0,01	1,39	0,05	0,01
Chamosite (Fe=Mg)	-	3,88	-	-	0,07	45,82	-	0,46	-	0,02	0,05	0,01	-
Clinoclóro (Mg=Fe)	-	3,7	-	0,05	0,09	70,98	3,91	-	0,12	0,08	4,01	-	-
Sillimanite	-	44,96	-	-	3,9	40,1	-	3,1	-	-	-	-	-
Muscovite	-	-	-	-	-	20,76	5,44	2,28	-	-	20,84	-	-
Sericite	-	0,28	-	-	-	73,86	0,29	3	-	0,53	-	0,18	-
Monazite-(Ce)	-	8,74	-	-	1,8	35,92	0,99	-	-	-	2,57	-	-
Apatite	-	25,52	-	-	-	22,94	-	-	-	-	-	-	-
Xenotima-(Y)	-	17,66	-	-	1,57	33,81	-	-	-	-	-	-	-
Parisite (Ce)	-	58,67	12,91	-	16,42	-	-	-	-	-	-	-	-
Zircão	-	-	-	-	-	85,29	-	-	-	-	-	-	-
Rutilo	-	0,66	-	-	0,12	43,5	0,84	-	-	-	0,31	-	-
Unknown	-	36,21	0,07	-	0,53	9,47	1,14	0,02	-	-	-	-	-

**Tabela 11.76** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13001-21, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite

Mineral	Calcopirite	Pirite	Quartzo	Albite	Calcite	Dolomite	Ankerite	Clinoclóro (Mg:Fe=3)	Chamosite (Fe:Mg=3)	Chamosite (Fe=Mg)	Clinoclóro (Mg=Fe)
<b>Calcopirite</b>	-	28,99	2,55	-	21,58	-	-	6,48	7,5	0,31	23,94
<b>Pirite</b>	0,11	-	13,95	0,09	4,73	0,07	0,39	9,52	22,11	0,60	27,14
<b>Pirrotite</b>	-	24,9	12,35	-	-	-	-	-	5,93	-	13,8
<b>Quartzo</b>	0,02	22,5	-	-	10,25	0,29	1,65	12,55	14,92	1,96	26,23
<b>Ortose</b>	0,01	7,33	2,19	0,02	7,78	0,39	1,06	11,43	9,19	2,57	21,26
<b>Albite</b>	-	20,97	0,60	-	14,67	-	0,46	10,81	30,97	0,29	13,83
<b>Calcite</b>	0,07	4,31	5,8	0,05	-	0,01	0,02	0,4	0,12	0,02	0,22
<b>Dolomite</b>	-	2,06	5,77	-	0,18	-	0,08	0,57	0,11	-	0,5
<b>Ankerite</b>	-	2,54	6,72	0,01	0,17	0,02	-	1,29	0,15	0,01	0,13
<b>Clinoclóro (Mg:Fe=3)</b>	0,05	20,15	16,48	0,09	0,94	0,04	0,41	-	0,31	0,08	1,59
<b>Chamosite (Fe:Mg=3)</b>	0,05	38,09	15,94	0,22	0,22	0,01	0,04	0,26	-	0,08	0,55
<b>Chamosite (Fe=Mg)</b>	0,02	8,57	17,25	0,02	0,31	-	0,02	0,55	0,64	-	0,8
<b>Clinoclóro (Mg=Fe)</b>	0,06	18,27	10,95	0,04	0,16	0,01	0,01	0,51	0,22	0,04	-
<b>Sillimanite</b>	-	23,28	0,7	0,09	3,79	-	0,92	12,89	23,12	0,58	32,14
<b>Muscovite</b>	-	16,14	1,88	-	17,24	-	1,79	9,06	20,74	1,41	18,91
<b>Sericite</b>	0,01	4,36	0,74	0,01	30,58	0,89	4,23	7,2	6,22	1,29	30,23
<b>Monazite-(Ce)</b>	-	0,2	3,58	-	6,44	0,57	0,89	0,92	1,18	1,12	6,27
<b>Apatite</b>	-	27,71	21,17	-	-	-	4,25	18,93	-	-	3,37
<b>Xenotime-(Y)</b>	-	0,47	4,03	-	1,08	-	-	0,9	0,58	-	9,49
<b>Parisite (Ce)</b>	-	-	0,66	-	24,03	-	4,4	9,07	5,49	1,88	25,04
<b>Bastnasite (Ce)</b>	-	86,27	-	-	-	-	-	-	13,73	-	-
<b>Zircão</b>	-	-	0,40	-	2,45	-	-	-	1,5	-	6,1
<b>Rutilo</b>	-	8,01	1,61	-	1,3	0,02	0,04	0,87	12,99	0,03	22,39
<b>Unknown</b>	-	5,91	6,76	-	1,81	-	0,12	2,79	3,52	0,91	3,06

**Tabela 11.77** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13001-21, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite (cont.)

Mineral	Muscovite	Sericite	Monazite-(Ce)	Apatite	Xenotima-(Y)	Parisite (Ce)	Zircão	Rutilo	Unknown
Calcopirite	-	6,97	-	-	-	-	-	-	-
Pirite	0,2	13,05	-	0,01	-	-	-	0,20	1,03
Pirrotite	-	28,54	-	-	-	-	-	-	5,79
Quartzo	0,04	3,57	0,03	0,01	0,02	-	-	0,07	1,9
Ortose	0,03	33,92	0,02	-	0,01	-	0,01	0,05	1,81
Albite	-	4,89	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	0,19	83,49	0,03	-	-	0,01	-	0,03	0,29
Dolomite	-	84,14	0,1	-	-	-	-	0,02	-
Ankerite	0,15	83,41	0,03	0,01	-	0,01	-	0,01	0,14
Clinoclóro (Mg:Fe=3)	0,24	45,61	0,01	0,01	0,01	0,01	-	0,05	1,03
Chamosite (Fe:Mg=3)	0,44	32,09	0,01	-	-	-	-	0,56	1,05
Chamosite (Fe=Mg)	0,25	54,72	0,09	-	-	0,01	-	0,01	2,25
Clinoclóro (Mg=Fe)	0,16	60,9	0,02	-	0,02	0,01	0,01	0,38	0,36
Sillimanite	-	1,05	-	-	-	-	-	-	0,41
Muscovite	-	5,9	0,04	-	-	-	-	-	4,42
Sericite	0,02	-	0,14	-	0,07	-	0,02	0,42	3,95
Monazite-(Ce)	0,09	75,81	-	-	-	-	-	-	1,31
Apatite	-	20,8	-	-	-	-	-	-	-
Xenotima-(Y)	-	64,66	-	-	-	-	13,2	2,98	0,13
Parisite (Ce)	-	20,72	-	-	-	-	2,87	-	5,23
Bastnasite (Ce)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zircão	-	49,2	-	-	33,19	1,05	-	0,46	0,6
Rutilo	-	50,1	-	-	0,38	-	0,02	-	0,94
Unknown	0,31	68,02	0,04	-	-	0,01	-	0,14	-

**Tabela 11.78** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13001-25, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite

Mineral	Calcopirite	Estanite	Tetraedrite	Galena	Pirite	Pirrotite	Esfalerite	Arsenopirite	Meneghinite	Clausthalite	Quartzo	Calcite	Dolomite	Siderite	Ankerite
Calcopirite	-	0,12	-	4,01	88,03	0,52	2,86	-	-	-	0,1	-	-	-	-
Estanite	0,18	-	0,21	2,41	70,48	-	22,43	-	0,34	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	-	0,14	-	1,82	70,98	-	6,77	-	-	-	0,23	0,31	-	-	-
Galena	0,63	0,24	0,29	-	90,56	-	3,35	-	0,02	0,05	0,06	0,06	-	-	0,03
Pirite	0,16	0,08	0,13	1,05	-	0,2	9,18	0,12	-	-	1,56	0,11	0,03	0,02	0,02
Pirrotite	0,41	-	-	-	85,64	-	0,39	0,09	-	-	-	-	-	0,36	-
Esfalerite	0,04	0,22	0,1	0,32	74,92	0,01	-	0,05	-	0,01	0,79	0,09	0,09	0,02	-
Arsenopirite	-	-	-	-	85,39	0,14	4,29	-	-	-	-	-	-	-	-
Alloclasite	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	10,94	-	4,91	40,19	-	16,51	-	-	-	-	-	-	-	-
Bournonite	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	5,71	24,58	-	8,49	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	-	76,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	-	-	0,01	0,01	24,7	-	1,54	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortose	-	-	-	-	55,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	-	0,46	0,6	87,18	-	9,42	-	-	-	-	-	-	-	0,53
Dolomite	-	-	-	-	68,63	-	24,57	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	-	-	-	-	80,72	3,08	10,09	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankerite	-	-	-	1,89	94,95	-	-	-	-	-	-	3,15	-	-	-
Clinoclóro (Mg:Fe=3)	-	-	0,02	0,03	50,82	0,01	1,68	0,01	-	-	2,78	-	-	-	-
Chamosite (Fe:Mg=3)	-	-	-	-	19,28	-	0,56	-	-	-	-	-	-	-	-
Chamosite (Fe=Mg)	-	-	-	0,03	15,03	-	0,39	-	-	-	11,75	-	-	-	-
Clinoclóro (Mg=Fe)	0,14	0,05	-	0,09	71,66	0,22	4,26	0,23	-	0,03	0,03	-	-	-	-
Sillimanite	-	-	-	-	16,03	-	-	-	-	-	7,47	-	-	-	-
Sericite	-	-	-	-	56,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Monazite-(Ce)	-	-	-	-	1,17	-	0,06	-	-	-	0,02	-	-	-	-
Apatite	-	-	-	0,01	17,82	-	0,95	-	0,02	-	0,21	-	-	-	-
Xenotima-(Y)	-	-	-	0,03	8,6	-	0,02	-	-	-	0,04	-	-	-	-
Zircão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rutilo	-	-	-	-	1,7	-	0,05	-	-	-	0,01	-	-	-	-
Unknown	-	-	-	0,6	28,4	-	1,16	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabela 11.79** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13001-25, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a sillimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite (cont.)

Mineral	Clinoclóro (Mg:Fe=3)	Chamosite (Fe:Mg=3)	Chamosite (Fe=Mg)	Clinoclóro (Mg=Fe)	Sillimanite	Sericite	Monazite-(Ce)	Apatite	Xenotima-(Y)	Zircão	Rutilo	Unknown
Calcopirite	3,02	-	-	1,02	-	-	-	-	-	-	-	-
Estanita	3,16	-	-	0,59	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	16,5	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Galena	3,61	-	0,04	0,1	-	-	-	0,04	0,11	-	-	0,28
Pirite	78,42	0,01	0,19	0,97	-	0,01	0,02	0,81	0,43	-	0,10	0,15
Pirrotite	9,49	-	-	1,32	-	-	-	-	-	-	-	-
Esfalerite	21,17	-	0,04	0,47	-	-	0,01	0,35	0,01	-	0,03	0,05
Arsenopirite	7,09	-	-	2,17	-	-	-	0	-	-	-	-
Alloclasite	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	-	0	-	-	-	27,45	-	-	-	-
Bournonite	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	56,67	-	-	4,56	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	68,03	-	2,35	0,01	0,01	-	-	0,15	0,04	-	0,01	-
Ortose	44,85	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	0,63	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Dolomite	2,36	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankerite	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Clinoclóro (Mg:Fe=3)	-	0,01	0,13	0,16	-	-	1,15	2,12	2,73	0,07	3,83	0,12
Chamosite (Fe:Mg=3)	41,8	-	-	2,38	-	-	-	-	-	-	-	-
Chamosite (Fe=Mg)	15,4	-	-	0	-	-	-	0,32	0,06	-	0,2	-
Clinoclóro (Mg=Fe)	18,81	0,06	-	0	-	-	-	0,37	0,25	-	0,11	0,04
Sillimanite	76,5	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Sericite	18,23	-	-	0	-	-	-	9,57	-	-	-	-
Monazite-(Ce)	97,52	-	-	0	-	-	-	0,26	0,47	-	0,16	-
Apatite	72,19	-	0,09	0,11	-	0,03	0,1	-	4,86	-	0,02	0,19
Xenotima-(Y)	84,81	-	0,02	0,07	-	-	0,17	4,44	-	1,22	0,08	0,08
Zircão	61,71	-	-	0	-	-	-	-	37,09	-	-	-
Rutilo	97,06	-	0,04	0,02	-	-	0,05	0,01	0,07	-	-	-
Unknown	34,78	-	-	0,09	-	-	-	1,55	0,76	-	-	-



**Tabela 11.80** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13001-28, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite

Mineral	Calcopirite	Estanite	Galena	Pirite	Pirrotite	Esfalerite	Arsenopirite	Alloclasite	Bismuto	Bismutinite	Guanajuatite	Babkinite	Quartzo	Calcite	Dolomite	Siderite	Ankerite
Calcopirite	-	-	-	21,67	0,09	0,1	2,66	0,84	-	0,01	0,01	0,01	16,56	0,09	0,03	-	0,09
Estanite	54,6	-	-	8,48	-	18,2	-	-	-	-	-	-	18,72	-	-	-	-
Tetradrite	100	-	-	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Galena	-	-	-	32,37	-	-	67,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pirite	15,71	-	-	-	0,01	0,03	0,24	1,16	-	-	0,02	-	7,17	-	-	-	0,01
Pirrotite	70,62	-	-	13,37	-	-	-	0,00	-	-	-	-	2,86	-	-	-	0,12
Esfalerite	39,4	0,15	-	13,41	-	-	-	0,1	-	-	-	0,09	17,02	-	-	-	-
Arsenopirite	18,11	-	0,01	2,27	-	-	-	0,07	0,07	0,12	0,19	0,34	20,32	-	0,01	-	-
Alloclasite	15,34	-	-	29,02	-	-	0,18	-	-	0,01	0,08	0,09	5,33	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bismuto	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bismutinite	15,68	-	-	13,2	-	-	53,01	1,5	-	-	1,41	2,34	2,9	-	-	-	-
Clausthalite	7,74	-	-	37,1	-	-	22,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Guanajuatite	5,87	-	-	20,18	-	-	19,82	3,28	-	0,34	-	0,31	6,09	-	-	-	0,11
Babkinite	8,93	-	-	6,87	-	0,31	68,94	6,82	-	1,09	0,58	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	6,59	-	-	93,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	14,49	-	-	8,66	-	0,04	2,61	0,26	-	-	0,01	-	-	-	0,02	-	0,02
Anortite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72,11	-	-	-	-
Albite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	-	-
Calcite	91,05	-	-	6,09	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5	-	0,44	-	-
Dolomite	35,72	-	-	2,89	-	-	1,13	-	-	-	-	-	23,03	0,46	-	-	13,62
Siderite	24,71	-	-	6,12	-	-	-	-	-	-	-	-	12,4	-	-	-	3,06
Ankerite	49,72	-	-	6,99	0,09	-	0,1	-	-	-	0,09	-	11,37	-	7,64	0,24	-
Fluorite	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clinoclóro (Mg:Fe=3)	4,38	-	-	6,37	-	-	-	-	-	-	-	-	48,25	-	-	-	-
Chamosite (Fe:Mg=3)	20,62	-	-	39,2	-	0,03	2,38	1,02	-	-	0,02	-	24,85	-	-	-	-
Chamosite (Fe=Mg)	3,92	-	-	3,46	-	-	0,89	0,05	-	-	-	-	88,64	-	-	-	-
Clinoclóro (Mg=Fe)	10,7	-	-	19,16	-	0,01	6,28	0,41	-	-	0,03	-	50,22	-	-	-	-
Ferrosilite	55,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,82	-	-	-	-
Sillimanite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Muscovite	11,26	-	-	8,42	-	-	14,8	0,43	-	-	-	-	2,56	-	-	-	-
Sericite	2,33	-	-	13,87	-	0,02	2,94	0,69	-	-	-	-	1,31	-	-	-	-
Monazite-(Ce)	38,66	-	-	11,2	-	0,28	-	0,08	-	-	-	-	2,73	-	-	-	-
Apatite	2,48	-	-	4,34	-	-	0,36	-	-	-	-	-	16,15	-	-	-	-
Xenotima-(Y)	6,89	-	-	14,01	-	-	-	0,11	-	-	-	-	10,81	-	-	-	-
Parisite (Ce)	31,33	-	-	9,65	-	0,61	0,21	-	-	-	-	-	3,6	-	-	-	-
Bastnasite (Ce)	36,81	-	-	7,35	-	0,13	-	0,13	-	-	-	-	3,59	-	-	-	-
Zircão	-	-	-	6,12	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-	-	-
Rutilo	10,19	-	-	6,31	-	0,01	0,17	0,36	-	-	-	-	4,31	-	-	-	-
Unknown	17,47	-	-	4,71	-	0,02	2,97	0,33	-	-	0,06	0,06	9,01	-	-	-	0,39

**Tabela 11.81** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13001-28, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite (cont.)

Mineral	Clinoclóro (Mg:Fe=3)	Chamosite (Fe:Mg=3)	Chamosite (Fe=Mg)	Clinoclóro (Mg=Fe)	Muscovite	Sericite	Monazite-(Ce)	Apatite	Xenotima-(Y)	Parisite (Ce)	Bastnasite (Ce)	Zircão	Rutilo	Unknown
Calcopirite	-	50,29	0,5	1,51	0,03	0,4	0,1	-	0,01	0,21	0,13	-	0,13	0,26
Estanita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Galena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pirite	-	69,33	0,32	1,96	0,02	1,7	0,02	-	0,02	0,05	0,02	-	0,06	0,05
Pirrotite	-	8,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esfalerite	-	24,94	0,17	0,6	-	1,25	0,26	-	-	1,5	0,17	-	0,07	0,1
Arsenopirite	-	39,56	0,78	6,05	0,25	3,39	-	-	-	0,01	-	-	0,01	0,3
Alloclasite	-	45,3	0,11	1,05	0,02	2,12	-	-	-	-	0,01	-	0,08	0,09
Meneghinite	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bismuto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bismutinite	-	7,87	-	1,75	-	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	32,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Guanajuatite	-	39,73	0,15	2,98	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	0,61
Babkinite	-	4,42	-	0,18	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	1,31
Cassiterite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	0,03	53,05	9,97	6,2	0,01	0,19	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	-	0,05	0,12
Anortite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Albite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dolomite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	-	27,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankerite	-	1,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,32
Fluorite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clinoclóro (Mg:Fe=3)	-	18,08	0,32	6,13	-	15,94	-	-	-	-	-	-	-	-
Chamosite (Fe:Mg=3)	-	-	0,08	0,08	0,05	4,95	0,04	0,01	0,05	0,11	0,05	0,01	0,38	0,28
Chamosite (Fe=Mg)	-	1,53	-	0,17	0,01	0,35	-	0,01	0,01	0,03	0,01	-	0,01	0,09
Clinoclóro (Mg=Fe)	0,03	1,42	0,15	-	0,12	6,44	0,02	-	0,03	0,06	0,02	-	0,22	0,41
Ferrosilite	-	19,38	0,00	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-	0,00	-
Sillimanite	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Muscovite	-	45,19	0,46	6,66	-	5,42	-	-	-	0,2	0,26	-	-	-
Sericite	0,06	71,29	0,26	5,37	0,08	-	0,01	0,02	0,03	0,2	0,09	0,01	0,08	0,1
Monazite-(Ce)	-	42,22	-	1,1	-	0,98	-	-	-	0,72	0,11	-	0,09	1,16
Apatite	-	62	1,55	-	-	4,5	-	-	0,21	0,69	2,03	-	4,34	-
Xenotima-(Y)	-	62,54	0,36	2,22	-	2,3	-	0,06	-	-	-	-	-	-
Parisite (Ce)	-	42,31	0,54	1,28	0,08	5,23	0,28	0,06	-	-	3,81	-	0,13	0,46
Bastnasite (Ce)	-	36,96	0,27	0,61	0,18	4,38	0,08	0,32	-	6,99	-	-	0,38	1,46
Zircão	-	91,01	0,00	-	-	2,87	0,00	-	-	-	-	-	-	-
Rutilo	-	74,03	0,09	2,47	-	1,11	0,02	0,2	-	0,07	0,11	-	-	0,08
Unknown	-	46,37	0,82	3,88	-	1,14	0,2	-	-	0,2	0,36	-	0,07	-

**Tabela 11.82** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13002-19, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite

Mineral	Calcopirite	Estanite	Tetraedrite	Galena	Pirite	Pirrotite	Esfalerite	Arsenopirite	Meneghinite	Bournonite
Calcopirite	-	0,12	8,67	3,23	78,95	0,04	1,43	0,11	0,04	-
Estanite	0,37	-	1,4	0,97	77,76	-	10,6	-	-	-
Tetraedrite	0,83	0,04	-	0,85	93,23	0,02	1,43	0,06	0,05	0,02
Galena	0,33	0,03	0,92	-	91,83	0,02	4,76	0,67	0,03	-
Pirite	0,25	0,08	3,05	2,76	-	0,09	18,63	2,6	0,05	-
Pirrotite	0,12	-	0,58	0,64	93,22	-	1,1	1,04	-	-
Esfalerite	0,02	0,05	0,2	0,61	79,38	-	-	1,09	0,01	-
Arsenopirite	0,01	-	0,06	0,63	80,77	0,03	7,93	-	-	-
Meneghinite	0,15	-	2,1	1,41	73,04	-	3,26	0,21	-	-
Bournonite	-	-	17,31	3,38	76,79	-	2,52	-	-	-
Babkinite	-	-	11,22	-	79,84	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	0,26	0,19	56,35	-	9,63	0,11	-	-
Quartzo	-	-	3,07	-	12,14	3,34	-	-	-	-
Ortose	-	-	-	-	38,52	-	-	-	-	-
Anortite	-	-	-	-	21,38	-	1,65	-	-	-
Albite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	0,03	0,01	0,13	0,03	88,29	-	5,66	0,43	0,02	-
Siderite	-	-	5,62	7,19	81	-	6,19	-	-	-
Ankerite	-	-	1,4	-	69,92	-	17,87	-	-	-
Fluorite	-	-	-	0,34	4,2	-	2,39	-	-	-
Sericite	-	0,67	-	-	26,17	-	9,69	-	-	-
Apatite	-	-	-	-	47,34	-	1,27	-	-	-
Unknown	-	-	0,03	0,58	38,4	-	10,74	1,05	0,03	-

**Tabela 11.83** –Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ESI3002-19, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite (cont.)

Mineral	Cassiterite	Quartzo	Calcite	Siderite	Ankerite	Fluorite	Sericite	Unknown
<b>Calcopirite</b>	-	-	6,7	-	-	-	0,13	-
<b>Estanite</b>	-	-	8,56	-	-	-	-	-
<b>Tetraedrite</b>	0,01	0,03	2,82	0,01	-	-	-	-
<b>Galena</b>	0,01	-	0,82	0,01	-	-	0,01	0,1
<b>Pirite</b>	0,07	-	63,81	-	0,01	-	-	0,2
<b>Pirrotite</b>	-	0,99	1,54	-	-	-	0,01	-
<b>Esfalerite</b>	0,05	-	17,43	-	0,01	-	-	0,24
<b>Arsenopirite</b>	-	-	9,57	-	-	-	-	0,17
<b>Meneghinite</b>	-	-	19,53	-	-	-	-	0,19
<b>Bournonite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Babkinite</b>	-	-	8,94	-	-	-	-	-
<b>Cassiterite</b>	-	-	32,61	-	-	-	-	0,22
<b>Quartzo</b>	-	-	77,61	-	-	-	-	-
<b>Ortose</b>	-	-	61,48	-	-	-	-	-
<b>Anortite</b>	-	-	76,57	-	-	-	-	-
<b>Albite</b>	-	-	-	-	-	-	0,02	-
<b>Calcite</b>	0,05	0,03	-	-	-	0,04	-	0,32
<b>Siderite</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ankerite</b>	-	-	10,81	-	-	-	-	-
<b>Fluorite</b>	-	-	92,89	-	-	-	-	-
<b>Sericite</b>	-	-	61,28	-	-	-	-	2,19
<b>Apatite</b>	-	-	51,38	-	-	-	-	-
<b>Unknown</b>	0,05	-	44,43	-	-	-	-	-

**Tabela 11.84** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13002-32, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite

Mineral	Calcopirite	Tetraedrite	Galena	Pirite	Pirrotite	Esfalerite	Arsenopirite	Alloclasite	Meneghinite	Bournonite	Clausthalite	Babkinite
Calcopirite	-	0,05	15,75	61,45	0,57	17,6	1,42	-	-	0,02	0,05	-
Estanite	-	-	-	67,06	-	21,74	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	16,09	-	4,03	53,58	-	17,06	-	-	-	-	-	-
Galena	0,93	-	-	71,7	0,24	23,57	0,27	-	0,02	-	0,03	0,02
Pirite	0,79	-	15,45	-	2,19	71,09	1,02	-	0,01	-	0,01	-
Pirrotite	0,27	-	1,88	80,79	-	14,71	1,15	0,01	-	-	0,02	0,05
Esfalerite	0,27	-	6,15	86,12	0,48	-	0,6	-	-	-	-	-
Arsenopirite	1,02	-	3,31	57,42	1,75	27,74	-	-	-	-	1,31	-
Alloclasite	-	-	-	63,33	21,35	-	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	29,11	44,66	-	19,44	-	-	-	-	1,15	-
Bournonite	55,03	-	-	44,97	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	1,38	-	15,59	20,91	0,88	6,92	49,8	-	0,34	-	-	0,18
Babkinite	-	-	31,1	36,65	12,81	11,91	-	-	-	-	0,82	-
Cassiterite	-	-	3,6	37,07	0,46	55,03	-	-	0,27	-	-	-
Ixiolite	-	-	-	56,39	-	43,61	-	-	-	-	-	-
Quartzo	0,25	-	4,66	60,87	0,12	31,49	0,8	-	-	-	0,01	-
Ortose	-	-	2,06	52,03	-	34,15	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	-	-	39,72	12,99	47,29	-	-	-	-	-	-
Siderite	0,81	-	8,42	42,28	3,86	34,8	-	-	-	-	-	0,34
Chamosite (Fe:Mg=3)	-	-	0,85	34,97	0,34	55,66	0,67	-	-	-	-	-
Chamosite (Fe=Mg)	-	-	-	-	-	26,85	-	-	-	-	-	-
Clinoclóro (Mg=Fe)	-	-	25,4	12,17	-	32,18	-	-	-	-	15,25	-
Ferrosilite	-	-	3,32	39,91	-	46,9	-	-	-	-	-	-
Sillimanite	-	-	10,19	45,52	-	-	-	-	-	-	1,37	-
Unknown	-	-	2,52	52,84	2,85	31,07	3,43	-	-	-	-	-

**Tabela 11.85** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13002-32, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a sillimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite (cont.)

Mineral	Cassiterite	Quartzo	Calcite	Siderite	Chamosite (Fe:Mg=3)	Chamosite (Fe=Mg)	Clinoclóro (Mg=Fe)	Ferrosilite	Sillimanite	Unknown
Calcopirite	-	2,19	-	0,08	-	-	-	-	-	-
Estanite	-	11,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	-	9,24	-	-	-	-	-	-	-	-
Galena	0,03	2,38	-	0,05	0,01	-	-	0,02	0,01	0,02
Pirite	0,07	6,71	-	0,05	0,05	-	-	0,05	0,01	0,09
Pirrotite	0,03	0,47	0,01	0,17	0,02	-	-	-	-	0,18
Esfalerite	0,13	4,21	-	0,05	0,1	-	-	0,08	-	0,06
Arsenopirite	-	4,96	-	-	0,05	-	-	-	-	0,32
Alloclasite	-	15,31	-	-	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	3,91	1,71	-	-	-	-	-	-	-	-
Bournonite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	2,75	-	-	-	-	0,47	-	0,48	-
Babkinite	-	2,81	-	3,9	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	2,15	-	-	0,12	-	-	0,7	-	-
Ixiolite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	0,04	-	-	0,06	0,05	0,01	-	0,1	0,03	0,09
Ortose	1,42	2,74	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	-	5,87	-	-	1,14	-	-	0,21	1,98	-
Chamosite (Fe:Mg=3)	0,17	3,88	-	0,96	-	0,31	0,15	0,13	0,65	-
Chamosite (Fe=Mg)	-	54,41	-	-	18,74	-	-	-	-	-
Clinoclóro (Mg=Fe)	-	-	-	-	15,01	-	-	-	-	-
Ferrosilite	1,05	8,35	-	0,19	0,14	-	-	-	-	-
Sillimanite	-	22,88	-	14,45	5,6	-	-	-	-	-
Unknown	-	5,69	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabela 11.86** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13002-45, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite

Mineral	Calcopirite	Estanite	Tetraedrite	Galena	Pirite	Pirrotite	Esfalerite	Arsenopirite	Alloclasite	Meneghinite	Clausthalite	Babkinite	Cassiterite	Quartzo	Albite
Calcopirite	-	0,08	0,05	0,06	71,81	0,26	2,18	0,1	-	-	-	0,01	0,08	0,51	-
Estanite	46,29	-	-	-	31,91	-	4,97	-	-	-	-	-	9,11	-	-
Tetraedrite	5,27	-	-	0,37	90,92	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Galena	10,56	-	0,66	-	80,28	0,1	0,4	-	-	0,33	-	-	0,22	-	-
Pirite	14,83	0,01	0,19	0,09	-	1,28	0,86	0,16	-	0,01	-	-	0,04	0,53	-
Pirrotite	3,19	-	-	0,01	76,34	-	0,08	0,06	0,01	-	-	-	0,01	-	-
Esfalerite	29,8	0,11	0,01	0,03	56,77	0,09	-	-	-	-	-	-	0,63	0,25	-
Arsenopirite	4,61	-	-	-	36,57	0,24	-	-	-	-	0,16	-	0,13	-	-
Alloclasite	-	-	-	-	50,26	11,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	8,33	-	-	3,89	80,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	4,04	-	-	-	46,94	-	-	8,97	-	-	-	-	-	-	-
Babkinite	25,46	-	-	-	51,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	22,2	4,05	-	0,33	56,92	0,12	12,22	0,73	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	9,27	-	-	-	46,46	-	0,34	-	-	-	-	-	-	-	0,16
Albite	-	-	-	-	19,52	-	-	-	-	-	-	-	-	32,67	-
Calcite	16,19	-	-	-	82,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	0,1	-	-	-	10,09	0,74	0,1	0,41	-	-	-	0,05	-	-	-
Chamosite (Fe:Mg=3)	7,55	-	0,01	0,03	27,78	0,35	0,56	0,01	-	-	-	0,02	-	0,13	-
Chamosite (Fe=Mg)	30,56	-	-	-	19,37	-	-	-	-	-	-	-	-	23,07	-
Clinoclóro (Mg=Fe)	-	-	-	-	1,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sillimanite	0,69	-	-	0,04	16,57	0,06	-	-	-	-	-	-	-	0,87	0,08
Muscovite	0,82	-	-	-	9,9	0,09	-	-	-	-	-	-	-	13,61	-
Sericite	3,54	-	-	-	63,47	0,24	0,12	0,2	-	-	-	-	-	0,21	-
Apatite	3,06	0,02	-	-	26,25	0,04	0,19	0,17	-	0,03	-	-	-	-	-
Xenotima-(Y)	-	-	-	-	25,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Parasite (Ce)	5,8	-	-	-	21,24	-	0,24	-	-	0,2	-	-	-	-	-
Bastnasite (Ce)	10,61	-	-	-	25,14	-	0,21	-	-	-	-	-	-	0,28	-
Zircão	-	-	-	-	28,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rutilo	0,27	-	-	0,12	24,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Andalusite	-	-	-	-	6,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Unknown	0,71	-	-	-	5,02	0,48	0,04	0,13	0,03	-	-	-	-	0,03	-

**Tabela 11.87** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13002-45, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a sillimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite (cont.)

Mineral	Calcite	Siderite	Chamosite (Fe:Mg=3)	Chamosite (Fe=Mg)	Clinoclóro (Mg=Fe)	Sillimanite	Muscovite	Sericite	Apatite	Xenotima-(Y)	Parisite (Ce)	Bastnasite (Ce)	Zircão	Rutilo
Calcopirite	0,01	-	0,9	-	-	0,03	0,02	16,26	0,12	-	0,06	0,1	-	0,01
Estanita	-	-	-	-	-	-	-	-	0,56	-	-	-	-	-
Tetraedrite	-	-	0,11	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-	-	-
Galena	-	-	0,57	-	-	0,33	-	3,72	-	-	-	-	-	0,76
Pirite	0,01	0,1	0,69	-	-	0,14	0,05	60,21	0,2	0,01	0,05	0,05	0,01	0,19
Pirrotite	-	0,45	0,51	-	-	0,03	0,03	13,41	0,02	-	-	-	-	-
Esfalerite	-	0,07	0,92	-	-	-	-	7,47	0,09	-	0,03	0,03	-	-
Arsenopirite	-	0,94	0,08	-	-	-	-	41,48	0,3	-	-	-	-	-
Alloclasite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Meneghinite	-	-	-	-	-	-	-	-	2,66	-	4,51	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-	-	-	-
Babkinite	-	9,51	8,98	-	-	-	-	2,41	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	-	-	-	-	2,92	-	-	-	-	-	-
Quartzo	-	-	0,29	0,04	-	0,66	6,03	17,35	-	-	-	0,04	-	-
Albite	-	-	-	-	-	12,82	-	29,37	-	-	-	-	-	-
Calcite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderite	-	-	11,71	-	-	0,21	0,11	45,09	-	-	-	-	-	0,29
Chamosite (Fe:Mg=3)	-	4,85	-	-	0,14	1,23	0,21	38,12	0,03	-	0,1	0,16	-	-
Chamosite (Fe=Mg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clinoclóro (Mg=Fe)	-	-	9,03	-	-	3,47	2,04	4,08	-	-	-	-	-	-
Sillimanite	-	0,24	3,51	-	0,15	-	0,95	41,33	-	-	-	-	0,03	0,18
Muscovite	-	0,23	1,04	-	0,15	1,63	-	32,14	0,1	-	-	-	-	-
Sericite	-	0,49	0,99	-	-	0,38	0,17	-	0,47	0,02	0,06	0,03	0,01	0,38
Apatite	-	-	0,1	-	-	-	0,07	57,47	-	-	-	-	-	0,16
Xenotima-(Y)	-	-	-	-	-	-	-	31,94	-	-	-	-	15,54	13,44
Parisite (Ce)	-	-	1,1	-	-	-	-	26,51	-	-	-	29,41	-	-
Bastnasite (Ce)	-	-	2,08	-	-	-	-	16,26	-	-	34,97	-	-	-
Zircão	-	-	-	-	-	0,78	-	24,14	-	26,53	-	-	-	3,18
Rutilo	-	0,39	-	-	-	0,21	-	47,53	0,16	0,97	-	-	0,13	-
Andalusite	-	-	4,64	-	-	8,16	2,36	4,54	-	-	-	-	-	-
Unknown	-	5,5	3,26	-	0,01	0,51	0,34	9,81	-	-	-	-	-	1,46



**Tabela 11.88** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES13002-56, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite

Mineral	Calcopirite	Tetraedrite	Pirite	Pirrotite	Esfalerite	Quartzo	Albite	Calcite	Chamosite (Fe:Mg=3)	Clinoclóro (Mg=Fe)	Sericite	Monazite (Ce)	Apatite	Xenotima (Y)	Rutilo	unknown
Calcopirite	-	1,12	55,37	0,07	0,99	2,78	0,03	1,15	1,93	0,45	20,28	0,11	0,01	-	0,04	15,67
Tetraedrite	32,72	-	32,42	0,03	2,93	23,6	-	2,43	0,17	-	2,53	0,01	0,02	-	-	3,14
Pirite	55,58	1,12	-	0,38	0,26	4,80	0,05	1,00	1,08	0,62	17,38	0,05	0,01	0,02	0,06	17,59
Pirrotite	13,46	0,21	77,14	-	0,26	0,28	0,14	0,13	0,6	0,13	3,07	-	-	0,09	-	4,49
Esfalerite	66,36	6,76	17,45	0,09	-	1,22	0	0,35	0,93	0,09	4,26	-	-	-	0	2,49
Quartzo	21,09	6,14	36,25	0,01	0,14	-	0,84	0,08	0,30	0,27	31,27	-	-	-	0,10	3,51
Albite	7,68	-	14,54	0,20	0	31,87	-	-	0,25	-	26,01	-	-	-	-	19,45
Calcite	43,71	3,18	37,8	0,02	0,20	0,41	-	-	0,06	-	11,09	-	-	-	-	3,53
Chamosite (Fe:Mg=3)	37,50	0,11	20,86	0,06	0,27	0,77	0,02	0,03	-	13,69	17,25	0,04	-	0,12	0,01	9,27
Clinoclóro (Mg=Fe)	13,92	-	18,97	0,02	0,04	1,08	-	-	21,60	-	31,73	0,12	-	0,04	-	12,48
Sericite	20,05	0,06	15,41	0,02	0,06	4,28	0,07	0,29	0,85	1,10	-	0,02	0,01	-	0,05	36,01
Monazite0(Ce)	46,58	0,18	21,06	-	-	0,11	-	-	0,79	1,62	14,38	-	-	1,07	-	14,21
Apatite	24,7	2,54	18,01	-	-	-	-	-	-	-	23,61	-	-	-	-	31,14
Xenotima0(Y)	2,40	-	30,43	0,80	-	-	-	-	10,66	2,33	26,72	4,62	-	-	-	22,04
Rutilo	11,44	-	17,15	-	-	4,26	-	-	0,19	0	14,86	-	-	-	-	52,10
unknown	24,16	0,17	27,00	0,03	0,06	0,71	0,10	0,14	0,74	0,63	45,92	0,05	0,01	0,02	0,26	-

**Tabela 11.89** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES12001-23, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite

Mineral	Calcopirite	Tetraedrite	Galena	Pirite	Pirrotite	Esfalerite	Arsenopirite	Meneghinite	Bournonite	Babkinite	Cassiterite	Quartzo	Albite	Calcite	Siderite
Calcopirite	-	1,8	0,27	80,67	0,19	2,28	0,13	-	-	-	-	3,83	-	9,6	-
Tetraedrite	0,11	-	0,09	94,13	0,20	2,65	0,29	0,03	0,03	-	-	0,96	-	0,86	-
Galena	0,3	1,59	-	94,39	0,3	2,18	0,49	0,09	-	0,08	-	0,2	-	0,08	-
Pirite	0,15	2,93	0,17	-	0,2	45,89	5,9	-	-	-	0,01	32,37	0,05	1,35	-
Pirrotite	0,08	1,35	0,11	42,59	-	21,13	1,62	-	-	0,03	-	20,3	-	1,84	-
Esfalerite	0,01	0,14	0,01	77,55	0,17	-	1,28	-	-	-	0,07	14,61	0,09	0,62	-
Arsenopirite	-	0,11	0,01	73,50	0,09	9,46	-	-	-	-	-	15,39	0,01	0,33	-
Meneghinite	-	46,05	7,13	46,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bournonite	-	46,84	-	50,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	51,28	-	-	48,72	-	-	-	-	-	-	-	-
Babkinite	-	-	16,21	64,44	19,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	-	21,21	-	68,31	0,21	-	-	-	-	6,57	0,19	-	-
Manganotapiolite	-	-	-	75,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,12	-
Quartzo	0,02	0,06	-	68,62	0,2	18,33	2,62	-	-	-	0,01	-	0,01	1,59	-
Ortose	-	0,28	-	66,68	0,09	17,12	0,41	-	-	-	0,02	5,8	-	-	-
Anortite	-	-	-	5,05	-	80,7	-	-	-	-	-	14,02	-	-	-
Albite	-	-	-	42,29	-	40,2	0,85	-	-	-	0,1	1,85	-	-	-
Calcite	0,69	1	-	50,29	0,32	13,61	1	-	-	-	-	27,97	-	-	0,01
Siderite	-	-	-	15,59	-	42,24	-	-	-	-	-	-	-	7,78	-
Ankerite	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorite	0,18	2,84	-	73,07	-	10,46	-	-	-	-	-	12,81	-	-	-
Clinoclóro (Mg:Fe=3)	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chamosite (Fe:Mg=3)	-	0,19	-	43,73	1,19	31,75	1,08	-	-	-	-	17,07	0,09	0,1	-
Chamosite (Fe=Mg)	-	-	-	13,53	-	8,85	0,38	-	-	-	0,03	74,21	0,09	-	-
Clinoclóro (Mg=Fe)	0,03	0,06	-	42,72	0,25	20,41	0,4	-	-	-	0,04	32,37	0,08	0,05	-
Ferrosilite	-	-	-	45,7	-	8,03	2,15	-	-	-	-	44,12	-	-	-
Sillimanite	0,09	-	-	41,31	-	44,98	1,32	-	-	-	0,11	1,06	-	-	-
Muscovite	-	-	-	60,35	-	9,94	-	-	-	-	-	12,79	-	-	-
Sericite	-	0,12	-	42,06	-	36,02	0,25	-	-	-	-	4,18	-	-	-
Monazite-(Ce)	-	-	-	82,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apatite	-	0,48	-	44,28	-	37,62	0,47	-	-	-	0,19	7,2	-	-	-
Xenotima-(Y)	-	-	-	74,12	-	-	-	-	-	-	-	16,78	-	2,71	-
Parisite (Ce)	-	-	-	45,49	-	24,93	7,12	-	-	-	-	10,16	-	3,3	-
Bastnasite (Ce)	-	-	-	37,78	-	36,08	-	-	-	-	-	16,01	-	-	-
Rutilo	-	-	-	41,23	-	36,55	-	-	-	-	-	16,75	-	5,47	-
Unknown	-	-	-	18,81	0,02	14,43	0,34	-	-	-	0,01	2,09	0,03	-	-

**Tabela 11.90** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES12001-23, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a sillimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite (cont.)

Mineral	Fluorite	Chamosite (Fe:Mg=3)	Chamosite (Fe=Mg)	Clinoclóro (Mg=Fe)	Sillimanite	Muscovite	Sericite	Apatite	Xenotima-(Y)	Parisite (Ce)	Bastnasite (Ce)	Rutilo	Unknown
Calcopirite	0,04	-	-	0,4	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetraedrite	0,04	0,01	-	0,05	-	-	0,01	0,01	-	-	-	-	-
Galena	-	-	-	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pirite	0,03	0,1	0,05	1,11	0,09	0,02	0,15	0,03	0,01	0,01	-	-	0,15
Pirrotite	-	0,58	-	1,41	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04
Esfalerite	0,01	0,12	0,06	0,9	0,16	-	0,21	0,04	-	0,01	-	0,01	0,19
Arsenopirite	-	0,03	0,02	0,13	0,03	-	0,01	-	-	0,01	-	-	0,03
Meneghinite	-	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Bournonite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clausthalite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Babkinite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cassiterite	-	-	0,2	1,56	0,37	-	-	0,18	-	-	-	-	0,18
Manganotapiolite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	0,01	0,08	0,61	1,79	-	0,01	0,03	0,01	0,01	-	-	-	0,04
Ortose	-	0,03	0,19	2,65	0,08	-	2,25	0,05	-	0,02	0,03	-	0,23
Anortite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Albite	-	0,15	0,27	1,63	0,00	-	-	-	-	-	-	-	0,17
Calcite	-	0,01	-	0,05	-	-	-	-	0,01	0,02	-	0,02	-
Siderite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankerite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clinoclóro (Mg:Fe=3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chamosite (Fe:Mg=3)	-	-	0,2	2,99	0,25	-	0,32	-	0,04	-	-	-	0,03
Chamosite (Fe=Mg)	-	0,12	-	1,56	-	0,15	0,15	-	-	-	-	-	-
Clinoclóro (Mg=Fe)	-	0,26	0,23	-	0,3	0,05	0,47	0,01	0,02	-	-	-	0,46
Ferrosilite	-	-	0,00	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Sillimanite	-	0,26	-	3,67	-	-	0,61	-	-	0,34	-	-	0,45
Muscovite	-	0	2,3	5,46	-	-	1,05	-	-	-	0,49	-	-
Sericite	-	0,21	0,16	3,51	0,37	0,08	-	-	-	0,05	-	-	0,63
Monazite-(Ce)	-	-	-	17,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apatite	-	-	-	0,5	-	-	-	-	0,55	-	-	-	0,38
Xenotima-(Y)	-	0,64	-	3,33	-	-	-	2,43	-	-	-	-	-
Parisite (Ce)	-	-	-	-	5,1	-	1,27	-	-	-	1,78	-	-
Bastnasite (Ce)	-	-	-	-	-	2,32	-	-	-	4,71	-	-	-
Rutilo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Unknown	-	0,01	-	1,51	0,12	-	0,27	0,03	-	-	-	-	-

**Tabela 11.91** – Proporção de contacto geométrico entre as diferentes fases minerais presentes na amostra ES12001-26, em percentagem. Determinados minerais estão desagregados em função dos dados fornecidos pelo MLA: o clinoclóro e a chamosite correspondem a clorite; a silimanite, muscovite e sericite correspondem a sericite/muscovite

Mineral	Calcopirite	Tetraedrite	Galena	Pirite	Esfalerite	Arsenopirite	Cassiterite	Quartzo	Calcite	Chamosite (Fe:Mg=3)	Chamosite (Fe=Mg)	Clinoclóro (Mg=Fe)	Sericite	Unknown
Calcopirite	-	1,49	3,47	79,55	5,68	1,51	0,09	6,08	-	0,07	0,09	0,54	-	-
Tetraedrite	0,49	-	1,78	90,88	2,73	0,25	-	2,91	0,01	0,01	-	0,27	-	0,19
Galena	0,16	0,25	-	90,5	1,44	0,13	0,01	6,51	0,12	0,01	-	0,38	-	0,02
Pirite	0,56	1,95	13,88	-	19,2	2,64	0,06	51,68	0,05	0,37	0,17	3,21	0,06	0,1
Esfalerite	0,18	0,27	1,02	88,17	-	1,83	0,36	5,24	0,01	0,29	0,04	1,37	-	0,02
Arsenopirite	0,3	0,16	0,59	75,57	11,37	-	0,04	9,6	-	0,1	0,08	0,82	-	0,02
Cassiterite	0,47	0,04	0,61	39,25	55,61	0,89	-	1,57	-	0,61	-	0,53	-	-
Quartzo	0,07	0,11	1,7	87,94	1,94	0,57	-	-	0,11	0,06	0,99	2,16	0,01	0,17
Calcite	-	0,16	13	36,89	0,9	-	-	47,56	-	-	-	-	-	-
Chamosite (Fe:Mg=3)	0,1	0,07	0,43	76,12	12,9	0,72	0,18	7,74	-	-	0,01	0,98	-	-
Chamosite (Fe=Mg)	0,08	-	0,03	22,32	1,02	0,35	-	74,87	-	0,01	-	0,61	-	0,01
Clinoclóro (Mg=Fe)	0,08	0,12	1,17	64,58	5,99	0,58	0,02	25,52	-	0,1	0,09	-	0,04	0,11
Sericite	-	-	1,01	83,21	0,31	-	-	9,41	-	-	-	2,9	-	-
Unknown	-	1,77	1,58	45,21	1,76	0,25	-	44,33	-	-	0,04	2,44	-	-